

PENGANTAR

EPIDEMI DAN MANAJEMEN

PENYAKIT TANAMAN

HERY AIRWANTO

PENGANTAR EPIDEMI DAN MANAJEMEN PENYAKIT TANAMAN

Oleh: Hery Nirwanto

Penerbit UPN “Veteran” Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya
Telp. +6231-8706369

© Hak Cipta 2007 pada penulis .

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfoto copy, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Edisi pertama
Cetakan pertama, 2007

ISBN : 978-602-8915-75-5
hal, 15,5 cm x 23,5 cm

x+126

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat merampungkan tulisan buku **yang berjudul: "PENGANTAR EPIDEMI DAN MANAJEMEN PENYAKIT TANAMAN"**

Di dalam tulisan ini, disajikan pokok-pokok bahasan yang meliputi bagian-bagian fitopatologi yang terkait erat dengan kondisi riil di lapangan. Pada bagian pertama menjelaskan fenomena jangka pendek mengenai penelitian epidemiologi, yaitu pemahaman fenomena musiman. Selanjutnya pada bagian kedua membahas pola-pola epidemi di lapangan. Pada bagian ketiga menguraikan tentang manajemen penyakit tanaman yang ada kaitannya dengan agroekosistem. Penekanan ekologi dan epidemi merupakan hubungan timbal balik yang saling terkait dalam proses timbulnya fenomena masing-masing.

Hasil penulisan tersebut diharapkan dapat menjembatani kebutuhan akan bahan-bahan kuliah terutama pengendalian penyakit dengan pendekatan epidemiologi. Dalam tingkat praktis epidemiologi digunakan sebagai dasar dalam merumuskan manajemen penyakit tanaman.

Walau demikian, adanya keterbatasan penulis di dalam menyajikan dan memberikan informasi yang lebih luas, maka kiranya saran perbaikan demi kesempurnaan penulisan ini akan sangat diharapkan.

Penulis,

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

BAB I.PENDAHULUAN	1
1.1. Epidemiologi Dan Hubungannya Dengan Ilmu-Ilmu Lain.....	1
Sejarah Epidemiologi	7
BAB II. PERKEMBANGAN PENYAKIT	12
2.1. Sifat Siklis Penyakit Tanaman	12
2.2. PROSES MONOSIKLIS DAN POLISIKLIS	16
2.2.1. Pengertian Siklus Tunggal Dan Siklus Majemuk Siklus Tunggal.....	16
Siklus Infeksi Majemuk.....	17
Siklus Polietik.....	18
2.2.2. Unit Dispersal.....	18
2.2.3. Unit Infeksi.....	18
2.2.4. Laju Infeksi.....	19
Model Matematika.....	20
Produksi Inokulum Monosiklis....	20
Produksi inokulum polisiklis.....	21
Perkembangan Penyakit Monosiklis.....	27

Perkembangan Penyakit Polisiklis..... 27

Estimating Model Parameters..... 31

Transformations 31

Model Monosiklis..... 32

Model Polisiklis 33

Bunga Sederhana 35

Bunga Majemuk Terputus-Putus 35

Bunga Majemuk Kontinyu 35

I. PENDAHULUAN

1.1. EPIDEMIOLOGI DAN HUBUNGANNYA DENGAN ILMU-ILMU LAIN

Ilmu yang mempelajari tanaman sakit disebut fitopatologi, yang mencakup berbagai bidang, seperti penyebab penyakit, bioekologi, gejala penyakit, daerah pemencaran patogen, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap perkembangan penyakit dan tanaman inang . Dalam pengendalian penyakit tanaman telah diketahui beberapa teknik pengendalian seperti melalui teknik budidaya tanaman, penggunaan varietas tahan, eradikasi, perlakuan benih, penghindaran penyakit dan peraturan karantina tanaman. Di Indonesia peraturan karantina tanaman tertuang dalam undang-undang Republik Indonesia No 12 tahun 1992 tentang sistem budidaya tanaman, yang memuat 8 pasal (20-27) tentang perlindungan tanaman.

Sebagai bagian dari ilmu fitopatologi, dalam memahami epidemi suatu penyakit tanaman memerlukan pengetahuan lain untuk mendapatkan analisis yang lebih teliti di dalam mempelajari atau memprediksi terjadinya ledakan penyakit. Diantaranya adalah ilmu matematik sebagai dasar di

dalam menentukan proses-proses epidemi secara kuantitatif. Disamping itu terdapat klimatologi, bioekologi patogen, ilmu genetika, fisika, dan ilmu informatika yang di dalamnya terdapat pengetahuan komputer.

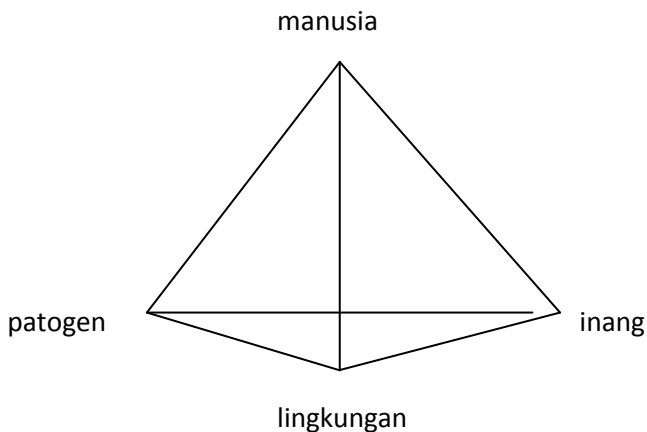
Epidemiologi adalah pengetahuan tentang penyakit dalam tingkat populasi (Van der plank, 1963). Hal ini dikarenakan penyakit dapat menimbulkan wabah apabila terdapat dalam tingkat populasi. Dengan kata lain epidemiologi merupakan ilmu yang mempelajari populasi penyakit dalam populasi tanaman inang dalam ruang dan waktu yang sama. Proses terjadinya epidemi penyakit pada populasi inang memerlukan jangka waktu tertentu. Oleh karena itu dalam jangka waktu tersebut terjadi interaksi antara patogen dan tanaman inang. Interaksi selama itu dipengaruhi oleh faktor-faktor yang dapat mendukung maupun menghambat proses terjadinya epidemi, diantaranya disebabkan oleh faktor ketahanan tanaman inang, virulensi patogen, dan lingkungan baik makro maupun mikro. Faktor ketahanan inang diperoleh dari jenis varietas tanaman maupun umur tanaman, sedangkan virulensi patogen dipengaruhi oleh jenis atau ras patogen. Disamping itu kondisi

lingkungan seperti kelembaban udara, intensitas matahari, suhu dan curah hujan dapat memicu terjadinya epidemi.

Proses epidemi yang terjadi pada suatu luasan dapat diukur dengan menggunakan laju infeksi. Laju infeksi merupakan percepatan infeksi yang diukur dari perbedaan luas infeksi pada saat pengamatan awal dengan infeksi pada saat akhir pengamatan per satuan rentang waktu pengamatan. Laju infeksi dapat cepat dengan semakin rentan tanaman inang terinfeksi penyakit yang ditunjukkan dengan tingkat serangan (disease severity) atau besar terjadinya penyakit (disease incidence). Disamping itu semakin virulen patogen pada suatu jenis inang, semakin besar laju infeksi. Laju infeksi dapat pula dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan.

Interaksi yang menyebabkan tinggi rendahnya laju infeksi dapat digambarkan oleh segitiga penyakit. Dalam epidemiologi interaksi tersebut tampak dari definisi epidemiologi bahwa studi kuantitatif tentang perkembangan penyakit dalam ruang dan dalam jangka waktu tertentu sebagai akibat interaksi antara populasi inang-patogen yang dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik, biotik dan manusia.

Untuk mempermudah pemahaman interaksi antara inang patogen dan lingkungan, maka dapat digambarkan sesuai pada limas penyakit yang dikenal dengan tetrahedron penyakit (Zadoks, 1979) sebagaimana Gambar di bawah



Gambar 1. Limas penyakit. Bidang dasar menggambarkan interaksi antara patogen inang dan lingkungan, sedangkan manusia mempengaruhinya dengan berbagai cara yang penting artinya dalam perkembangan epidemi dan pengendaliannya (Zadoks, 1979).

Limas pada Gambar 1 yang melukiskan interaksi patogen inang dan lingkungan dapat dijelaskan bahwa patogen dapat berkembang pada inang yang pada akhirnya mempunyai potensi terjadi peledakan penyakit apabila patogen mempunyai virulensi yang tinggi, pada saat bersamaan kondisi lingkungan sangat mendukung perkembangan

penyakit, sebagai misal pada tanaman bawang merah yang terinfeksi patogen *Alternaria porri*. Patogen tersebut dapat menyebabkan penyakit bercak ungu apabila kondisi lingkungan lembab selama 6 jam, maka mengakibatkan permukaan daun basah dan dapat diprediksi bahwa penyakit akan berkembang lebih cepat, apalagi tanaman bawang merah ditanam pada saat musim penghujan. Proses tersebut tidak terlepas dari proses sebelumnya, yaitu lahan yang terus ditanami jenis tanaman bawang. Kondisi ini dapat diperparah dengan pemberian pupuk **N** yang berlebihan. Kondisi ini merupakan contoh adanya interaksi patogen dan tanaman inang yang terus tersedia disamping pemberian pupuk yang tidak berimbang. Hal yang sama juga dapat terjadi apabila tanaman introduksi yang tahan dengan suatu jenis penyakit pada daerah asalnya, setelah ditanam pada daerah lain dengan kondisi yang berbeda dapat terserang oleh patogen sejenis dikarenakan kondisi lingkungannya sangat mendukung bagi perkembangan penyakit tersebut. Sebagai contoh hawar daun pada tanaman kentang yang diintroduksi dari Australia yang dikenal dengan varietas Granola.

Manusia sebagai faktor yang dapat berperan terjadinya peledakan penyakit, dalam konsep tetrahedron penyakit

mempunyai peran yang sangat berpengaruh terhadap timbulnya epidemi. Peranan manusia sebagai pengontrol dan monitoring sangat diperlukan dalam pengambilan keputusan dalam tindakan pencegahan dan pengendalian penyakit. Peranan tersebut akan menjadi lebih meningkat apabila disertai dengan pemanfaatan ilmu-ilmu lain seperti; matematik, genetika, dan agronomi serta bioekologi dan etiologi. Sebagai ilmu yang mempunyai sifat integratif, maka diperlukan analisis kuantitatif terhadap peran masing-masing faktor seperti lingkungan, dengan pendekatan ekologis tersebut dapat diketahui faktor penting sehingga pendekatan pengendalian penyakit menjadi lebih efektif.

Pendekatan ekologis dalam epidemiologi melibatkan pengertian-pengertian yang meliputi ekosistem alamiah, agroekosistem, keragaman, suksesi, stabilitas, subsidi energi, berbagai bentuk interaksi, populasi dengan sifat-sifatnya, dan lain-lain. Oleh karena itu pendekatan tersebut memerlukan analisis kuantitatif dalam proses interkasinya. Proses interaksi antara populasi patogen dengan populasi tanaman inang di bawah pengaruh faktor-faktor lingkungan tunduk kepada prinsip-prinsip matematik, maka dengan pertolongan analisis

dan model-model matematik, sehingga proses interaksi yang kompleks tersebut dapat dijelaskan (Krantz, 1974).

1.2. SEJARAH EPIDEMIOLOGI

Ilmu yang mempelajari penyakit tanaman dinamakan phytopathology yang berasal dari kata phyto yang berarti tanaman, patho penyakit, serta logos berarti ilmu pengetahuan. Dunia pernah mengalami tragedi yang sangat bersejarah dalam perkembangan ilmu penyakit tanaman. Tragedi berawal pada tahun 1845 di akhir bulan juni terjadi wabah penyakit hawar daun yang disebabkan oleh jamur *Phytophthora infestans* pada tanaman kentang di negara Belgia. Pada awal bulan Juli 1845 wabah tersebut telah menyebar kepertanaman kentang di negara Irlandia. Kentang merupakan makanan pokok bagi masyarakat Irlandia. Pada tahun 1846 wabah penyakit hawar daun telah menyebar ke pertanaman kentang di negara Inggris dengan kecepatan 80 km/jam yang mengikuti aliran angin. Peristiwa tersebut menyebabkan 6 juta orang meninggal dunia dan 10 juta melakukan emigrasi besar-besaran ke wilayah Amerika.

Sejak saat itu muncul perhatian yang sangat besar terhadap phytopathology dengan kajian kuantitatif terhadap perkembangan dan penyebaran penyakit tanaman. Kajian

tersebut dikenal dengan epidemiologi penyakit tanaman. Epi yang artinya pada dan demos yang berarti manusia atau epiphytotic berasal dari kata epi yang berarti pada dan phyto berarti tanaman.

1.3. DAMPAK EPIDEMI TERHADAP LINGKUNGAN DAN EKOSISTEM

Upaya menanggulangi penyakit tanaman dengan cara-cara yang bersifat eksploitasi dengan menggunakan bahan-bahan anorganik dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan ekosistem. Terjadinya epidemi pada suatu jenis tanaman dapat mendorong petani melakukan upaya yang berlebihan terhadap mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit. Penggunaan pestisida yang berlebihan dikarenakan kurangnya pengetahuan akan prinsip-prinsip terjadinya epidemi.

Dampak epidemi secara langsung dapat menyebabkan penggunaan fungisida yang berlebihan, sehingga mengakibatkan kerusakan efek ganda terhadap organisme yang bermanfaat. Kerusakan akan semakin besar dengan semakin banyaknya rantai makanan yang terputus, sehingga kerusakan ekosistem menjadi tidak stabil.

Untuk dapat mencapai tanaman inangnya maka inokulum yang berasal dari sumbernya harus disebarkan oleh agensia tertentu. Berdasarkan agensia penyebarannya penyakit dapat dikelompokkan menjadi soil borne apabila agensia penyebarannya tanah, seed borne penyebarannya melalui benih, insect borne melalui serangga, air borne apabila agensia penyebarannya udara, water borne agensia penyebarannya air. Selain itu terdapat agensia penyebarannya yang melalui manusia, burung dan hewan yang lain.

Dari kesemua agensia ini untuk penyebaran jarak pendek yang terpenting adalah angin, karena inokulum terutama jamur, spora atau konidianya sangat mudah disebarkan oleh angin mengingat beratnya yang kecil. Bahkan dapat pula tersebar jauh, tetapi karena adanya gangguan alam banyak yang mati sebelum mencapai tanaman inangnya. Untuk penyebaran jarak jauh agensia yang terpenting adalah manusia, lebih-lebih di jaman modern ini dengan adanya transportasi yang sangat cepat. Selain itu disebarkan oleh manusia tidak inokulumnya saja tetapi bersama-sama dengan substratnya hingga menjaga tetap hidupnya inokulum sampai ke tanaman inangnya yang baru. Agensia lain yang cukup

penting adalah serangga, terutama untuk penyakit virus, karena serangga ini selain dapat menyebarkan juga dapat menularkan dan menjadi tempat untuk bertahan dan tempat untuk berkembang biak.

Tubuh buah jamur yang mempunyai lubang ostiole kecil mengeluarkan spora atau konidianya satu demi satu secara bergantian, tetapi bagi tubuh buah yang berbentuk cawan pengeluaran spora atau konidia dapat secara bersamaan dan kadang-kadang membentuk awan spora atau konidia di atas tubuh buah tersebut.

Berdasarkan penelitian spora jamur tersebut dapat tersebar sejauh 1000 km dan setinggi 20 km. Oleh karena itu penyakit dapat dibedakan menjadi tiga macam berdasarkan penyebarannya dan intensitas, yaitu epidemi atau epifitotik apabila terdapatnya secara periodik dan intensitasnya berat, endemi atau enfitotik apabila selalu terdapat dan intensitasnya cukup dan sporadis apabila hanya terdapat di sana-sini dan intensitasnya ringan. Untuk menentukan penting tidaknya penyakit selain intensitas perlu juga diperhatikan luas serangannya.

Epidemi biasanya terjadi apabila faktor luar mendukung, yaitu cukup terdapat tanaman inang, adanya patogen baru yang masuk dari luar. Sedangkan epidemi akan menurun apabila jumlah populasi tanaman yang tahan bertambah dan ada pemberantasan baik secara buatan maupun alami.

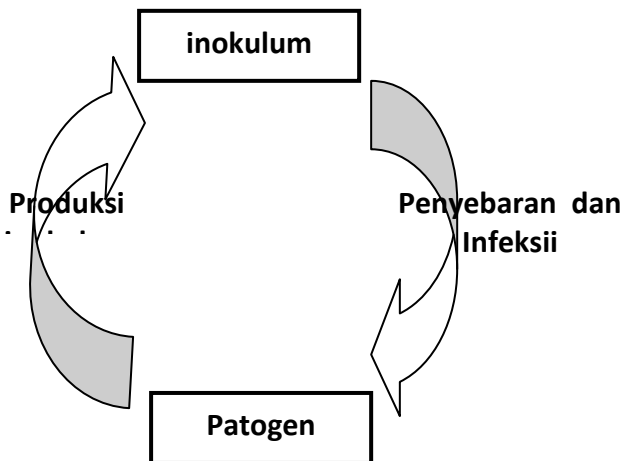
Usaha-usaha pengendalian tersebut tidak selamanya efektif dapat mengendalikan penyakit pada suatu komoditi tanaman. Untuk itu diperlukan ilmu pengetahuan yang komprehensif dan integratif dalam menangani penyakit tanaman. Ilmu pengetahuan yang dimaksud adalah Epidemiologi. Epidemiologi merupakan cabang ilmu penyakit tanaman. Epidemiologi adalah suatu strategi yang bersifat teknis dalam pengendalian penyakit tanaman. Dalam aplikasinya ilmu epidemiologi di lapangan yaitu dengan penggunaan konsep PHT. PHT merupakan suatu konsep pengelolaan hama secara terpadu. Pada konsep tersebut termasuk juga di dalam pengendalian penyakit tanaman.

II. PERKEMBANGAN PENYAKIT

2.1. Sifat Siklis Penyakit Tanaman

Epidemi penyakit tanaman merupakan fenomena siklis, yang terdiri dari siklus perkembangan patogen yang terjadi secara berulang-ulang dan dipengaruhi oleh tanaman inang dan lingkungannya. Inokulum dapat berupa spora jamur, sel bakteri, nematodes, virus yang terdapat di dalam tubuh vektor aphid, atau berupa propagules suatu patogen, yang masuk ke dalam dan menetap di dalam jaringan tanaman inang melalui proses infeksi. Patogen berkembang di dalam tanaman inang dan secepatnya menghasilkan inokulum baru, yang pada gilirannya, dapat disebarkan ke lokasi baru yang rentan untuk memulai infeksi baru sebagaimana tampak pada Gambar. Patogen yang hanya mempunyai satu siklus perkembangan (satu siklus infeksi) dalam setiap siklus hidup tanaman disebut monosiklis, sedangkan patogen yang mempunyai lebih dari satu siklus infeksi dalam setiap siklus hidup tanam disebut polisiklis. Biasanya di dalam iklim panas hanya ada satu siklus tanam setiap tahun, sehingga istilah "monosiklis" dan "polisiklis" didasarkan pada banyaknya siklus setiap tahun. Di daerah tropis atau iklim sub-tropic, dapat terjadi lebih dari satu siklus setiap tahun, sehingga "

monosiklis" dan " polisiklis" didasarkan pada siklus tanam yang terjadi. Terminologi yang sama juga digunakan untuk menjelaskan epidemi seperti halnya pada patogen, maka sering dikatakan sebuah " epidemi monosiklis" atau " epidemi polisiklis".

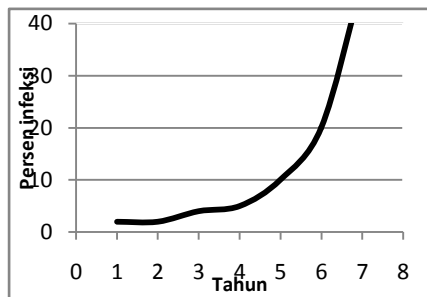


Gambar 2.1 . Perkembangan penyakit

Pada beberapa penyakit banyaknya masa tanam perlu dipertimbangkan untuk menghindari suatu epidemi. Hal ini terutama sekali untuk tanaman tanaman yang awet hijau (pakan hewan, padang rumput, halaman rumput, kebun buah,

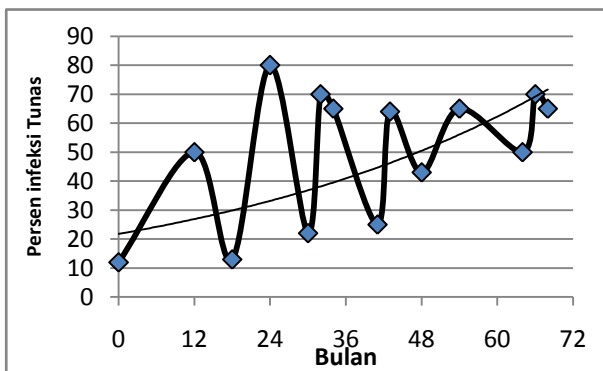
hutan, dll.) atau untuk tanaman tahunan yang tumbuh dari tahun ke tahun. Di dalam situasi ini inokulum yang dihasilkan dalam satu musim tanam dapat terbawa sampai musim berikutnya, dan di sana bisa benar-benar menjadi inokulum yang berkembang sepanjang tahun. Di daerah tropis sulit ditemukan batas yang jelas antara musim tanam sebagaimana terdapat di daerah sedang, sehingga epidemi dapat berlanjut sampai beberapa periode tahun seperti pada tanaman pisang, kopi, dan pohon karet, yang dinyatakan sebagai epidemi polietik, dengan mengabaikan apakah patogen bersifat polisiklis atau monosiklis di dalam setiap musim.

Penyakit Dutch elm adalah suatu contoh patogen monosiklis yang menimbulkan suatu epidemi polietik. Bahwa hanya ada satu siklus infeksi setiap tahun dan perkembangan penyakit di dalam setiap tahun adalah linier, timbulnya infeksi atau infeksi yang meningkat diikuti dengan meningkatnya laju dari tahun ke tahun.



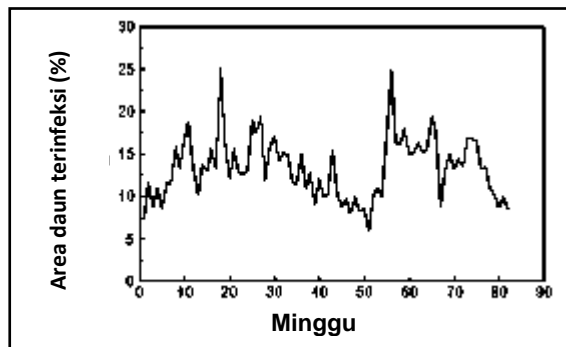
Gambar 2.2 . Perkembangan penyakit Dutch elm

Buah apel lumut seperti ditutupi bedak adalah suatu **contoh suatu epidemi polietik yang disebabkan oleh suatu** patogen polisiklis. Timbulnya infeksi pada awal tahun setiap tahunnya cenderung meningkat secara eksponensial.



Gambar 2.3 . Perkembangan penyakit embun tepung pada apel

Sigatoka merupakan penyakit daun yang menyerang tanaman pisang yang dapat terjadi sepanjang musim kemarau akan tetapi jika tidak akan menghasilkan siklus infeksi. Yang berulang secara terus menerus. Tanaman inang, dalam hal ini, terdiri dari suatu populasi tanaman dengan umur yang berbeda-beda berkembang secara terus-menerus dalam suatu periode lama waktu.



Gambar 2.4. Perkembangan penyakit sigatoka pada

Hubungan Perkembangan penyakit dengan siklus Penyakit

Siklus penyakit pada epidemi yang berkembang secara pada awal cenderung menjadi epidemi monosiklis. Pada sisi lain, penyakit yang meningkat pada suatu taraf

sepanjang awal epidemi cenderung untuk menjadi epidemi polisiklis. (Lihat Perkembangan penyakit.)

2.2. PROSES MONOSIKLIS DAN POLISIKLIS

2.2.1. Pengertian siklus tunggal dan siklus majemuk Siklus Tunggal

Proses epidemi dapat terjadi melalui dua jenis siklus infeksi, siklus tersebut adalah siklus tunggal dan siklus majemuk. Patogen yang berkembang melalui satu siklus infeksi dalam satu siklus hidup tanaman dinamakan siklus tunggal. Patogen yang mempunyai satu siklus tunggal diantaranya adalah patogen pasca panen, patogen soil borne dan patogen penyebab penyakit karat yang tidak menghasilkan uredospore. Patogen pasca panen seperti penyakit busuk buah dapat menginfeksi umbi sebelum panen atau saat panen, akan tetapi tidak dapat berkembang membentuk infeksi baru.

Selanjutnya, untuk patogen tular tanah seperti penyakit hanya dapat menginfeksi tanaman sekali, walaupun dapat berkembang akan tetapi tidak dapat melakukan infeksi lagi sampai tanah diolah kembali. Penyakit karat juga hanya dapat menginfeksi daun dan berkembang sekali selama satu siklus pertanaman tanaman.

Siklus infeksi majemuk

Patogen yang menginfeksi dan berkembang pada suatu tanaman serta dapat menginfeksi berulang-ulang selama satu musim tanam dinamakan patogen siklus majemuk. Inokulum patogen yang menginfeksi tanaman, berkembang, bersporulasi dan meyebar serta membentuk infeksi baru sampai berkali-kali dalam satu siklus hidup tanaman merupakan patogen siklus ganda. Contoh yang jelas terdapat pada penyakit tanaman kentang yang dikenal dengan hawar daun, penyakit tersebut mampu membuat infeksi baru setelah lima hari, kemudian sporanya menginfeksi tanaman baru. Pada peristiwa ini dapat terjadi pengulangan siklus sampai sepuluh kali selama satu musim tanam.

Siklus polietik

Patogen yang terdapat di daerah tropis dengan dan menginfeksi tanaman tahunan atau anual juga dapat berkembang mengikuti siklus yang berulang ulang, akan tetapi tidak jelas siklus tanamannya, maka penyakit tersebut termasuk penyakit yang mempunyai siklus polietik. Hal ini dikarenakan penyakit polietik pada tanaman dapat tersedia sepanjang tahun, sehingga patogen yang mempunyai satu

siklus dapat menginfeksi tanaman tanpa fase pertumbuhan yang jelas.

2.2.2. Unit dispersal

Patogen dapat berkembang dengan menggunakan alat-alat perkembang biakan seperti spora, hifa, sklerotia, kista, dan bentuk-bentuk perkembang biakan lainnya. Alat-alat tersebut dalam epidemiologi disebut unit dispersal.

2.2.3. Unit Infeksi

Unit dispersal yang menemukan tanaman inang dan terjadi kontak sehingga menimbulkan infeksi, maka tempat terjadinya infeksi dinamakan unit infeksi. Perkembangan unit infeksi yang meluas dan jumlahnya banyak dapat membentuk unit dispersal yang banyak pula. Akan tetapi unit dispersal yang banyak belum tentu dapat menghasilkan unit infeksi dalam jumlah banyak. Hal ini dikarenakan perkembangan unit dispersal sangat dipengaruhi oleh ketahanan tanaman maupun faktor-faktor luar.

2.2.4. Laju infeksi

Laju infeksi penyakit pada tanaman inang merupakan jumlah pertambahan infeksi per satuan waktu. Infeksi pada

tanaman dapat dinyatakan dengan kerusakan pada satu tanaman atau bagian tanaman. Kerusakan tersebut berupa gejala lokal maupun sistemik, yang pertama biasanya terjadi pada bagian tanaman, seperti daun, batang, maupun akar, sedangkan yang kedua gejala yang dapat menyebabkan tanaman gagal berproduksi. Laju infeksi yang merupakan jumlah persentase kerusakan dalam unit waktu tertentu, maka laju infeksi tidak mempunyai satuan.

Model Matematika

Sebagaimana dinyatakan, tujuan dari manajemen penyakit tanaman adalah untuk menjaga perkembangan penyakit di bawah suatu ambang yang bisa diterima dan oleh karena itu perlu memahami terminologi perkembangan penyakit secara kuantitatif, yang memerlukan beberapa jenis model matematika yang dapat menjelaskan epidemi. Model tersebut sebaiknya dapat menunjukkan bagaimana beberapa variable dapat berubah menurut waktu, terutama yang variable yang dapat mengukur kondisi nyata di lapangan. Dari perspektif manajemen, mengawasi infeksi baru barangkali merupakan hal yang paling bermanfaat, akan tetapi

mengamati peristiwa mikroskopik ini dalam banyak kasus sangat kurang praktis. Monitoring inokulum juga merupakan hal yang bermanfaat untuk manajemen penyakit, dan telah banyak dikembangkan teknik praktis untuk mengukur inokulum pada banyak penyakit. Oleh karena itu pembahasan akan dimulai dari perubahan jumlah inokulum seiring dengan perubahan waktu yang dapat menyebabkan penyakit.

Model Matematika

Produksi Inokulum Monosiklis

Di dalam epidemi monosiklis bahasan utama mengenai inokulum yang terdapat pada setiap awal musim (inokulum awal). Jika Q_1 dinyatakan sebagai jumlah inokulum awal pada awal musim, maka sebanding dengan jumlah inokulum awal pada awal musim sebelumnya, yaitu Q_0 ditambah dengan kenaikan akibat oleh pertumbuhan dan pengembangan patogen pada musim tersebut:

$$Q_1 = Q_0 + \text{pertambahan}$$

Kenaikan merupakan suatu fungsi jumlah dari inokulum awal pada akhir musim, dan suatu pendekatan yang

mungkin adalah membuat suatu proporsi sederhana dari inokulum awal pada akhir musim,yaitu KQ_0 di mana K suatu proporsi tetap:

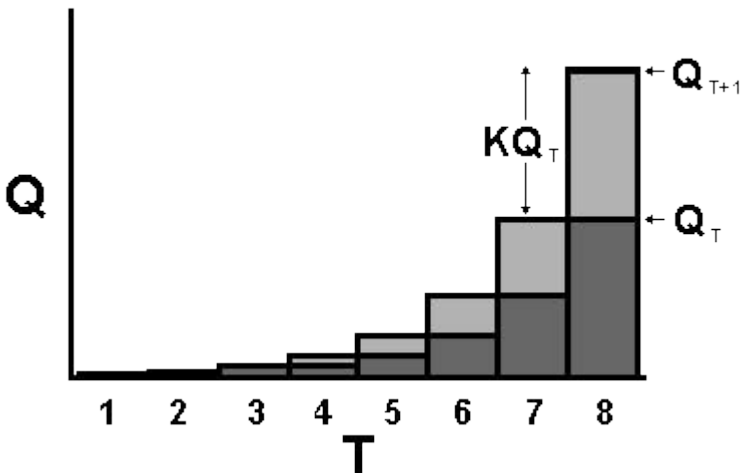
$$Q_1 = Q_0 + KQ_0$$

Di dalam K terdapat semua faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan cendawan, produksi propagule, penyebaran inokulum, dan kematian cendawan. Nilai Ketergantungan pada sejumlah besar faktor, termasuk kondisi-kondisi lingkungan, perkembangan tanaman dan praktek budidaya. Jika ada suatu kenaikan bersih di dalam inokulum dari satu musim ke musim yang berikutnya, maka K akan menjadi positif. Jika, terjadi sebaliknya ,maka akan terdapat suatu kerugian bersih inokulum, seperti adanya rotasi dengan tanaman bukan tanaman inang, maka K akan bersifat negatif.

Untuk menjelaskan perubahan inokulum awal dari satu musim ke musim berikutnya pada suatu epidemi polietik, maka persamaan di atas perlu disederhanakan sebagai berikut:

$$Q_{T+1} = Q_T + KQ_T$$

Penyelesaian persamaan tersebut dilakukan secara berulang dengan merubah waktu **T**, sedangkan untuk musim berikutnya dinyatakan dengan waktu **T+1** . Untuk menyatakan jumlah inokulum pada musim berikutnya dinyatakan dengan **Q_{T+1}**, nilai **Q_T** menunjukkan jumlah inokulum pada musim sebelumnya. Dalam rangka menyederhanakan persamaan maka perlu diasumsikan bahwa **K** tetap (suatu rata-rata pada banyak musim). Persamaan di atas memberikan grafik sebagai berikut:



Sebagaimana pada gambar di atas bahwa jika **K** adalah positif, kenaikan (area abu-abu pada palang) masing-masing meningkat sebanyak jumlah inokulum awal pada setiap musim berikutnya, dan grafik nampak membengkok ke atas

Produksi inokulum polisiklis

Suatu epidemi polisiklis pada dasarnya dapat menggunakan model yang sama dengan model patogen monosiklis yang terjadi dalam beberapa musim, di samping mengulangi siklus dari musim ke musim, juga terjadi pengulangan banyak siklus di dalam musim yang sama . Waktu dapat hari atau minggu disamping tahun, dan karena waktu tidak lagi perlu unit waktu (tahun), maka pertambahan waktu dapat dinyatakan dengan ΔT .

$$q_{T+\Delta T} = q_T + q_T \cdot k \cdot \Delta T$$

Notasi, yang digunakan adalah huruf kecil **q** untuk menunjukkan jumlah inokulum selama terjadi epidemi dan suatu huruf kecil **k** untuk menunjukkan proporsi peningkatan inokulum yang terjadi pada setiap langkah waktu. Unit **k**

berhubungan dengan unit **T**. Sebagai contoh, jika waktu dihitung dalam unit hari, maka **k** akan dihitung proporsi/hari.

Penyusunan kembali didapatkan: $q_{T+\Delta T} - q_T = q_T \cdot k \cdot \Delta T$

Produksi Inokulum sebenarnya cenderung tidak selalu terjadi di dalam discontinuous, periode infeksi yang terputus-putus dan tidak sama lamanya, tergantung pada cuaca, dan nilai **k** akan mungkin berbeda untuk masing-masing periode infeksi. Bagaimanapun, sasaran mengembangkan model yang paling sederhana menjadikan sebagai alat manajemen yang bermanfaat, menyederhanakan model dengan penggunaan langkah-langkah waktu yang sama dan **k** diasumsikan tetap. Di samping **k** bervariasi menurut kondisi lingkungan, juga digunakan suatu nilai " yang dirata-ratakan" untuk seluruh epidemi. Pertama menyusun kembali persamaan di atas untuk mendapatkan:

$$q_{T+\Delta T} - q_T = q_T \cdot k \cdot \Delta T$$

: Perubahan jumlah inokulum dalam satu langkah waktu Δq , merupakan perbedaan antara jumlah

inokulum pada waktu **T** dan jumlah inokulum pada waktu: **T+ΔT**

$$\Delta q = q_T \cdot k \cdot \Delta T$$

Disusun kembali menjadi

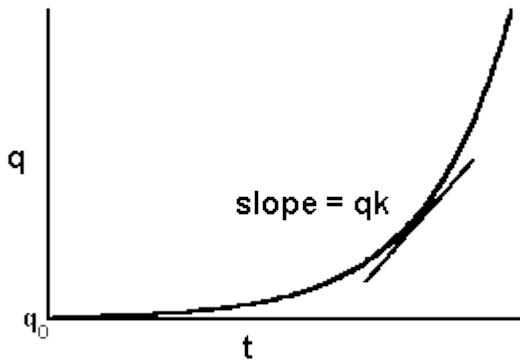
$$: \Delta q / \Delta T = q_T \cdot k$$

Disamping perkembangan waktu di dalam tahapan yang terputus-putus, juga akan diberikan pada waktu yang berlangsung secara terus-menerus, sehingga **ΔT** menjadi kecil sekali:

$$dq/dt = qk$$

Di dalam persamaan diferensial **dq**, adalah suatu perubahan kecil jumlah inokulum, dan **dt** adalah suatu perubahan kecil waktu. Hal ini menunjukkan bahwa laju perubahan jumlah inokulum adalah sebanding dengan jumlah inokulum disebatang titik waktu. Dengan menggunakan kalkulus persamaan ini dapat digabungkan menjadi:

$$q = q_0 e^{kt}$$



Gambar 2.5 . Perkembangan penyakit secara

Sebagaimana tampak bahwa hal ini secara umum dikenal dengan fungsi eksponensial, di mana q_0 merupakan inokulum awal dan e merupakan logaritma alami. Laju perubahan q adalah dq/dt yang merupakan kemiringan tangen terhadap kurva pada sebarang titik.

Perkembangan Penyakit Monosiklis

Jika perkembangan epidemi penyakit monosiklis adalah linier, maka kemiringan kurva perkembangan penyakit adalah tetap. Selanjutnya, jika perkembangan epidemi suatu

penyakit yang monosiklis adalah sebanding dengan jumlah inokulum awal yang tetap sepanjang epidemi, maka kemiringan kurva perkembangan penyakit dapat dibuat sebagai produk inokulum awal dan proporsinya yang tetap. Oleh karena itu, hal ini dapat menjelaskan suatu perkembangan penyakit secara linier dalam epidemic patogen monosiklis dengan menggunakan persamaan diferensial:

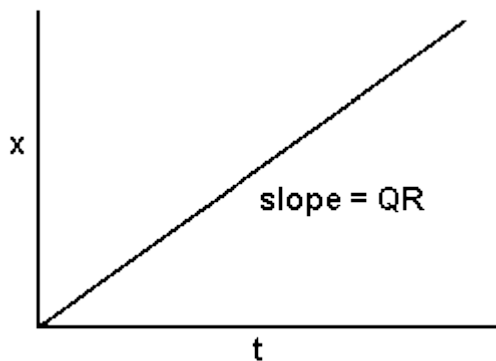
$$dx/dt = QR$$

di mana **dx** merupakan kenaikan kecil sekali yang dinyatakan dalam proporsi penyakit, **dt** adalah suatu tahapan waktu yang tidak terbatas, **Q** adalah jumlah awal inokulum, dan **R** adalah suatu proporsi yang tetap yang menunjukkan laju perkembangan penyakit setiap unit inokulum. Selama **Q** dan **R** keduanya tetap sepanjang terjadi suatu epidemi, maka kemiringan **dx/dt**, adalah tetap, dan perkembangan penyakit adalah linier. Sama halnya dengan **K** pada model produksi inokulum monosiklis yang tetap, **R** mempunyai suatu nilai yang menunjukkan " rata-rata" untuk keseluruhan epidemi, suatu nilai yang tergantung pada banyak faktor, seperti agresivitas patogen, kerentanan tanaman inang, kondisi-kondisi lingkungan, dan sebagainya. Unit **R** adalah proporsi unit inokulum awal untuk setiap unit waktu.

Jika persamaan di atas diintegrasikan, maka didapatkan persamaan :

$$x = QRt$$

Dengan demikian secara nyata dihasilkan suatu garis lurus yang memotong nol dengan kemiringan **QR**



Gambar 2.6 . Perkembangan penyakit secara linier

Perkembangan Penyakit Polisiklis

Dalam suatu model yang dapat disamakan dengan produksi inokulum secara polisiklis, maka tingkat perubahan pada penyakit adalah sebanding dengan jumlah penyakit pada satuan waktu. Oleh karena itu, di dalam format diferensial, penyamaan untuk menguraikan epidemi polisiklis adalah:

$$dx/dt = xr$$

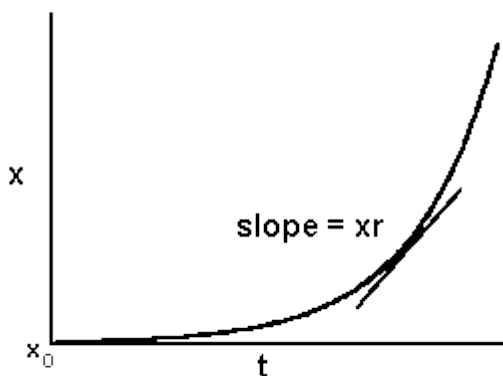
Seperti pada model monosiklis, dimana x adalah proporsi tanpa dimensi antara nol dan 1, dan r adalah suatu ketetapan yang tergantung pada agresivitas pathogen, kerentanan tanaman inang, kondisi-kondisi lingkungan, dll., yang dirata-ratakan dari seluruh epidemi. Dalam hal ini, kemiringan,, dx/dt adalah sebanding dengan x , dan oleh karena itu kemajuan penyakit meningkat dengan meningkatnya waktu dengan laju yang meningkat.

Di dalam format yang terintegrasi modelnya adalah:

$$x = x_0 e^{rt}$$

di mana x_0 proporsi penyakit pada awal epidemi dan e adalah dasar logaritma alami. Vanderplank (1963)

menyebut r " laju infeksi nyata " karena didasarkan pada kenampakan gejala penyakit, maka tertinggal oleh infeksi yang nyata. Hal ini] digambarkan sebagai tingkat peningkatan penyakit setiap unit penyakit dan mempunyai unit proporsi setiap unit waktu. Parameter x_0 kadang-kadang secara ceroboh disebut dengan inokulum awal, dimana secara kuantitatif terkait, akan tetapi pada hakekatnya adalah penyakit awal (suatu proporsi). Secara grafis model mempunyai format yang umum dikenal dengan model yang bersifat eksponen:



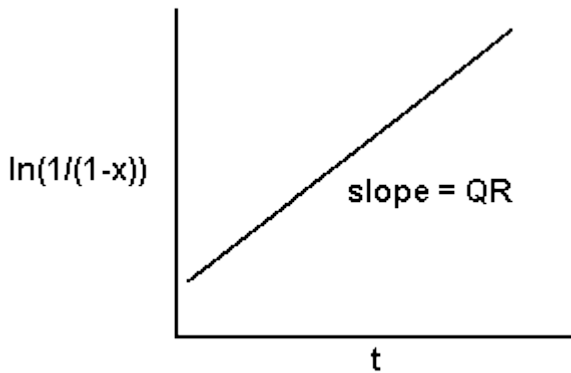
Gambar 2.7. Model eksponensial

Meramal Parameter Model Transformations

Untuk menerapkan model pada epidemi yang riil, dimulai dengan nilai-nilai kuantitatif untuk parameter R di dalam model yang monosiklis juga X_0 dan r di dalam model yang polisiklis. Untuk menaksir parameter tersebut, perlu diamati epidemi, pengukuran X beberapa kali selama terjadi epidemi, dan kemudian memplot X terhadap t . Kesukaran terjadi pada usaha mencocokkan model nonlinear dengan seperangkat data. Jauh lebih mudah mengubah bentuk X untuk mendapatkan suatu model linier yang dapat cocok dengan regresi linier sederhana.

Model monosiklis

Di dalam kasus model monosiklis, jika nilai pengamatan x diubah menjadi logaritma $1/(1-x)$ yang alami, dan perubahan nilai-nilainya diplot terhadap t , maka akan diperoleh suatu garis lurus dengan kemiringan sebanding dengan QR .

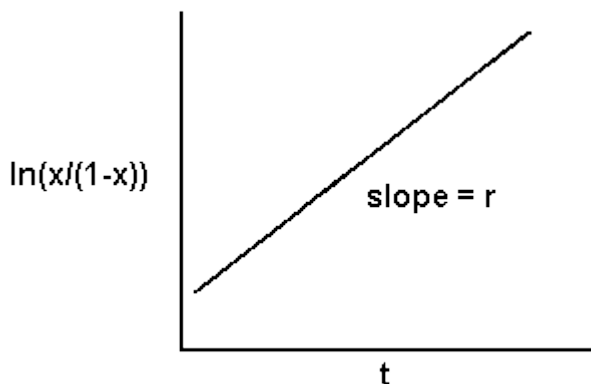


Gambar 2.8 . Model penyakit monosiklis

Kemudian dengan suatu perkiraan awal inokulum **Q**, akan dapat dihitung nilai **R**

Model Polisiklis

Jika **X** yang diamati dari suatu epidemi polisiklis diubah menjadi logaritma **X/(1- X** yang alami), dan nilai-nilai yang diubah diplot terhadap **t**, maka hasilnya akan merupakan suatu garis lurus dengan kemiringan sebanding dengan **r** dan suatu intersep yang sebanding dengan logaritma alami **X₀/(1-X₀)**.



Gambar 2.9 . Model logaritma
penyakit polisiklis

Di dalam mengepaskan model untuk data pengamatan, adalah penting untuk memilih model berdasarkan biologi pathogen yang dikenal dibanding hanya pada bentuk kurva nya. Demikian juga, tidak perlu dicoba untuk membuat kesimpulan tentang biologi pathogen berdasar pada bentuk kurva dan model yang memberi kecocokan " terbaik " tentang data . Ada variabilitas acak pada setiap pengamatan, dan di dalam model yang sudah ditransformasi poin-poin data akhir baris mempunyai beban di dalam menentukan kecocokan model. Sungguh mungkin untuk mempunyai suatu set data yang cocok dengan model polisiklis dan monosiklis yang sama atau untuk mempunyai suatu set data dari suatu epidemi monosiklis yang diketahui memberi suatu

kecocokan yang lebih baik pada model polisiklis atau sebaliknya.

- **Contoh perhitungan dalam epidemi**

Perkembangan penyakit pada tanaman inang mempunyai persamaan yang menyerupai perhitungan bunga uang di bank. Perkembangan penyakit dari waktu ke waktu berbeda menurut laju penyakit. Laju penyakit dapat cepat atau lambat tergantung dari tipe perkembangan yang analog dengan tipe bunga bank. Pada bunga bank dikenal dengan istilah bunga sederhana dan bunga majemuk. Dalam teori bunga majemuk dibedakan menjadi bunga majemuk terputus dan bunga majemuk kontinyu.

a. Bunga sederhana

Bunga sederhana merupakan bunga yang diperoleh apabila modal uang yang disimpan di bank akan bertambah sebesar bunga dikalikan modal awal. Modal awal menjadi dasar perhitungan bunga tanpa memperhatikan pertambahan uang setelah diterima untuk disimpan lagi dalam jangka

waktu tertentu. Misalnya modal Rp. 1000,- yang dibungakan secara bunga sederhana sebesar 10%/tahun, maka bunganya setelah setahun menjadi $10\% \times \text{Rp } 1000,- = \text{Rp } 100,-$. Modal + bunga dalam satu tahun = $\text{Rp } 1000,- (1+1/10) = \text{Rp } 1100,-$. Setelah 2 tahun modal + bunga = $\text{Rp } 1000,- (1+2/10) = \text{Rp } 1200,-$. Setelah 5 tahun menjadi $\text{Rp } 1000 (1+5/10) = \text{Rp } 1500,-$ dan seterusnya. Jadi tambahan bunga untuk setiap tahun tetap saja Rp 100,-. Apabila dinyatakan dengan persamaan, M_t jumlah uang setelah jangka waktu t ; M_0 modal awal; B bunga per jangka waktu; t = jangka waktu, maka $M_t = M_0 + B.M_0.t$ atau $M_t = M_0(1 + B.t)$

b. Bunga majemuk terputus-putus

Bunga majemuk terputus-putus merupakan bunga yang diperoleh dari bunga yang dibungakan dalam jangka waktu tertentu. Misalnya modal Rp 1000,- dibungakan sebesar 10%/ tahun. Setelah satu tahun modal + bunganya menjadi $\text{Rp } 1000,-(1 + 1/10) = \text{Rp } 1100,-$. Jumlah uang ini akan menjadi modal pada tahun berikutnya, sehingga setelah tahun kedua menjadi

Tahun pertama $[\text{Rp } 1000 (1 + 1/10)]$

Tahun kedua = $[\text{Rp } 1000,- (1 + 1/10)] [(1 + 1/10)]$
atau $\text{Rp } 1000,- (1 + 1/10)^2$

Setelah tahun ke enam, maka jumlah uang menjadi
 $\text{Rp } 1000,- (1 + 1/10)^6$

Apabila dinyatakan dengan persamaan menjadi $M_t = M_0 (1 + B)^t$

c. Bunga majemuk kontinyu

Bunga majemuk kontinyu merupakan bunga yang diperoleh dari bunga yang dihitung dalam unit waktu sampai terkecil dapat dari tahunan menjadi bulanan, dari bulanan menjadi harian, harian menjadi hitungan jam, jam menjadi satuan detik dan seterusnya. Misal bunga sebesar 10% / tahun, maka bunga bulanan ($1/12$ tahun) setelah satu bulan adalah

$$\text{Rp } 1000,- \{1 + [1/10 \cdot 1/12]^1\}$$

Setelah 10 tahun (= 120 bulan), modal + bunga menjadi:

$$\text{Rp } 1000 (1 + 1/10)^{10 \times 12} = \text{Rp } 1000 \times 2.7070$$

Bila dibungakan setiap hari, maka setelah 10 tahun modal + bunganya menjadi:

$$\text{Rp } 1000(1 + 1/10 \times 365)^{10 \times 365} = \text{Rp } 1000 \times 2.71$$

Bila dibungakan setiap hari, maka setelah 10 tahun modal + bunganya menjadi:

$$\text{Rp } 1000(1 + 1/10. 1/365)^{10 \times 365} = \text{Rp } 1000 \times 2.7178$$

Bila dibungakan setiap detik, maka setelah 10 tahun modal + bunganya menjadi:

$$\text{Rp } 1000(1 + \frac{1}{10 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60})^{10 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}$$

Bilangan 2.72 selalu ditulis dengan e (epsilon).

Definisinya adalah:

$$(1 + 1/n)^n, n \text{ bilangan sangat besar}$$

Bila X_0 adalah modal permulaan, dibungakan selama t tahun dengan bunga sebesar r unit/tahun, maka modal + bunga setelah t tahun, persamaannya adalah:

$$X = X_0 e^{rt} \quad (1)$$

n di sini sangat besar harganya, sehingga:

$$(1+r/n)^{nt} = (1+1/n)^{nrt} = e^{rt}$$

Bila ditulis logaritmenya, maka persamaan (1) menjadi:

$$\log eX = \log e X_0 + rt$$

$$r = 1/t (\log X - \log e X_0)$$

$$= 1/t \log e X/X_0$$

(Log e dicari dari tabel log biasa dengan dasar 10. untuk menganalisis perkembangan penyakit cukup dilakukan dengan 2.3).

Maka persamaan (4) akan menjadi:

$$r = 2.3/t \log 10$$

Dalam kenyataan di lapangan perkembangan penyakit tidaklah sederhana; analog pertambahan modal yang dibungakan dengan perkembangan penyakit menjadi tidak begitu tepat, sebab:

- 1) infeksi terjadi terputus-putus, jadi tidak secara kontinyu, sedangkan uanh yang dibungakan bersifat kontinyu
- 2) bunga uang tidak terbatas, sedangkan perkembangan penyakit tertinggi 100% karena bagian tanaman sehat semakin berkurang, sehingga laju infeksi juga semakin menurun.
- 3) Bagian penyakit yang menginfeksi tidak dapat langsung berkembang karena pengaruh faktor luar, sedangkan uang yang dibungakan dengan sendirinya dapat berbunga
- 4) Perkembangan penyakit cenderung terkonsentrasi pada spot-spot tetentu pada bagian tanaman yang terinfeksi, sehingga perkembangan populasi tidak lagi begitu cepat pada tanaman yang sudah terserang.

Persamaan laju infeksi di atas dapat digunakan dasar dalam penghitungan laju infeksi penyakit, akan tetapi dapat dilakukan modifikasi sesuai dengan hubungan interaksi patogen dan tanaman.

III. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TERJADINYA EPIDEMI

3.1. Interaksi inang patogen

Perkembangan patogen pada tanaman inang dipengaruhi oleh virulensi patogen dan kerentanan tanaman inang. Proses interaksi dalam epidemi yang merupakan serangkaian subproses subproses mulai dari tingkat gen sampai spesies. Akan tetapi supproses di dalam epidemi tingkatan di bawah gen tidak dibahas. Tingkatan gen menunjukkan ketahanan atau kerentanan suatu tanaman inang terhadap patogen, sedangkan pada tingkatan gen patogen sering membahas gen-gen yang menyebabkan patogen virulen maupun avirulen.

Interaksi antara patogen dan tanaman inang dapat dipengaruhi faktor-faktor fisik, kimia dan biologis

3.2. Interaksi lingkungan dengan inang

Dalam epidemiologi hubungan antara tanaman inang dan lingkungan terkait dengan pengelolaan lingkungan untuk mendapatkan pertanaman tanaman yang baik sehingga

tanaman lebih tahan terhadap serangan patogen. Kondisi lingkungan seperti kelembaban, porositas dan pH tanah mempunyai peranan terhadap pertumbuhan akar dan ketersediaan makanan bagi tanaman. Tanah yang mengalami kekurangan air dapat menyebabkan tanaman memperoleh makanan yang tersedia dalam tanah, demikian pula tanah yang mempunyai pH rendah akan menyebabkan akar tanaman sulit mengikat mineral yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga tanaman mengalami kekurangan unsur mikro yang sangat diperlukan dalam proses fotosintesis. Tanaman yang mempunyai pertumbuhan tidak normal karena kekurangan unsur-unsur mikro akan menjadi lebih rentan terhadap infeksi patogen.

3.3 Interaksi Lingkungan Dengan Patogen

Kondisi lingkungan di sekitar tanaman, baik pada tingkat mikro, meso maupun makro dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan patogen. Pada tingkat mikro misalnya disekitar permukaan daun phyllosphere maupun permukaan akar rhizosphere, apabila kelembabannya tinggi, maka menjadi kondusif bagi perkembangan koloni jamur maupun bakteri. Kelembaban yang tinggi pada permukaan daun sehingga menimbulkan apa yang dinamakan kebasahan

daun, yaitu di atas 90% pada tanaman bawang merah selama 4 jam dapat menyebabkan perkecambahan jamur *Altenaria porri* pada tanaman jenis bawang. Demikian pula pada kondisi tanah yang mempunyai drainase buruk dapat menyebabkan tanaman tomat mudah terserang oleh jamur *Fusarium oxysorum* penyebab penyakit layu pada banyak tanaman sayuran di tempat pembibitan.

Pada tingkatan meso, yaitu kondisi di sekitar tanaman dapat mempengaruhi penyebaran patogen. Pertanaman yang terlalu rapat dapat menciptakan kelembaban di sekitar pertanaman meningkat, sehingga dapat memacu terjadinya perkecambahan spora. Di samping itu, mempengaruhi penyebaran spora karena lebih banyak spora yang mendarat ke jaringan tanaman. Patogen yang telah menempel pada jaringan tanaman lebih mudah menginfeksi tanaman apabila kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban meningkat.

Kondisi lingkungan yang lebih tinggi tingkatannya adalah kondisi makro yang terdapat di atas 2mm dari permukaan daun sampai lapisan stratosfir. Cuaca merupakan kondisi makro, seperti hujan, intensitas matahari, suhu dan kecepatan angin. Dalam epidemiologi faktor-faktor lingkungan makro telah banyak digunakan

sebagai variabel peramalan terjadinya outbreak penyakit tanaman. Kondisi makro sangat mempengaruhi kondisi meso maupun mikro tanaman. Penyakit tanaman banyak berkembang pada musim hujan. Akan tetapi terdapat pula penyakit yang mudah berkembang pada musim kemarau dengan kelembaban tinggi seperti terjadi pada penyakit embun tepung pada tanaman apel yang disebabkan oleh jamur *marsonina*.

3.4. Interaksi patogen inang lingkungan

Hubungan yang terjadi antara inang patogen dan lingkungan sering diterangkan dengan menggunakan konsep segitiga penyakit. Dalam segitiga penyakit dapat terjadi hubungan timbal balik sampai pada tingkatan tertentu. Kondisi lingkungan yang baik dapat menciptakan tanaman yang tumbuh subur dan tahan terhadap serangan mikroorganisme. Kondisi tersebut dapat menciptakan lingkungan mikro ataupun meso menjadi lebih lembab dan intensitas cahaya yang diterima oleh daun bagian bawah menjadi berkurang. Pada saat kondisi demikian, maka kondisi menjadi lebih kondusif bagi perkembangan mikroorganisme. Oleh karenanya, kondisi tersebut perlu diperhatikan agar hubungan timbal balik tidak menyebabkan kerugian dalam

sistem budidaya tanaman. Dalam konsep epidemiologi hal ini menjadi titik tolak dalam strategi pengendalian penyakit tanaman yang melihat masing-masing komponen dapat berjalan dalam kondisi setimbang.

3.5. Peran manusia dalam segitiga penyakit

Konsep segitiga penyakit merupakan dasar di dalam menjaga kesetimbangan hubungan komponen inang patogen dan lingkungan. Dalam pengelolaan penyakit tanaman secara terpadu, manusia sebagai pusat terjadinya dinamika penyakit pada sistem epidemi penyakit tanaman. Terjadinya perubahan sistem kesetimbangan dari sistem keragaman biologi menjadi sistem monokultur menyebabkan terjadi dominasi spesies pada sistem pertanian. Adanya keseragaman tanaman menjadikan ketersediaan makanan yang melimpah. Hal ini memberikan kesempatan patogen sebagai parasit dapat berkembang tanpa dibatasi oleh ketersediaan makanan. Perkembangan ini mendorong terjadinya epidemi penyakit pada suatu wilayah yang lebih luas dengan kondisi tanaman yang sama.

Peranan manusia sebagai pengelola sistem budidaya tanaman menjadi bagian dalam sistem epidemi penyakit tanaman. Keterlibatan manusia dalam sistem segitiga

penyakit menjadikan konsep dasar integrated pest management (IPM). Konsep ini berkembang menjadi konsep segi empat penyakit disease tetrahedron. Dalam segiempat penyakit, manusia sangat berperan dalam terjadinya epidemi. Hal ini dikarenakan manusia cenderung mendapatkan kemudahan di dalam pengusahaan tanaman dengan sistem monokultur. Sistem monokultur akan merubah kesetimbangan sistem keragaman dan hubungan komponen didalam sistem alami. Oleh karena itu di dalam pengelolaan penyakit tanaman, manusia harus dapat menemukan faktor-faktor kunci untuk mengurangi resiko kerugian dalam budidaya tanaman. Agar mendapatkan cara-cara pengendalian penyakit tanaman yang efektif dan mengurangi dampak kerusakan ekologis

3.6. Faktor Kelembaban

Kelembaban sebagaimana suhu mempengaruhi inisiasi dan perkembangan penyakit tanaman dalam banyak hubungan. Hal ini mungkin berada sebagai hujan atau air irigasi pada permukaan tanaman atau sistem akar, sebagai kelembaban relatif di udara, dan sebagai embun. Kelembaban sangat diperlukan untuk perkecambahan spora jamur dan penetrasi pada inang oleh tabung kecambah. Kelembaban dalam bentuk seperti percikan hujan dan air

mengalir, juga berpengaruh pada distribusi dan penyebaran banyak patogen pada tanaman yang sama atau ke tanaman yang lain. Selanjutnya, timbulnya banyak penyakit pada daerah tertentu terkait erat dengan jumlah dan distribusi curah hujan per tahun.

Contoh: penyakit bercak ungu yang disebabkan oleh jamur *Alternaria porri* pada tanaman jenis bawang.

3.7. Pengaruh Suhu

Patogen berbeda dalam hal preferensi terhadap temperatur yang tinggi atau rendah. Beberapa jamur timbul lebih cepat pada suhu yang rendah dibanding dengan jamur yang lain, dan mungkin terdapat perbedaan yang signifikan antara ras beberapa jamur. Suhu mempengaruhi jumlah spora yang terbentuk dan jumlah spora yang dilepaskan pada periode waktu tertentu.

Suhu mempengaruhi laju seluruh proses biologi dan penyakit tanaman, pengaruh penting adalah pada laju perkecambahan yang selanjutnya menentukan waktu untuk infeksi. Disamping mempengaruhi waktu infeksi, temperatur juga mempengaruhi masa inkubasi, periode sporulasi dan periode infeksi. Semuanya ini mempunyai muatan pada perkembangan penyakit (Kerr, 1981) mengu

3. Kegiatan manusia didalam pengelolaan penyakit tanaman ditujukan untuk mengurangi jumlah inokulum yang terdapat pada sisa-sisa tanaman maupun di dalam tanah. Tindakan pengendalian penyakit seperti penyemprotan fungisida dan perempesan bagian-bagian tanaman dapat mengurangi perkembangan dan penyebarab penyakit. Sedangkan tindakan yang dilakukan pada tanah seperti penggenangan lahan sebelum tanam, pembalikan tanah, perbaikan saluran yang memadai dan pemberoan dapat mengurangi dan membatasi penyebaran penyakit.

Contoh: Persyaratan tumbuh tanaman bawang merah lain adalah faktor iklim di daerah pertanaman. Faktor-faktor tersebut adalah curah hujan, intensitas sinar matahari, suhu udara dan kelembaban. Curah hujan yang sesuai untuk pertanaman tanaman bawang merah adalah antara 300-2500 mm per tahun. Tanaman bawang merah sangat rentan terhadap curah hujan yang tinggi, terutama daunnya mudah rusak sehingga menghambat pertanamannya, dan umbinya yang lunakpun mudah busuk (*londot* = Jawa). Sedangkan kebutuhan intensitas sinar matahari penuh lebih dari 14 jam sehari. Intensitas atau lamanya penyinaran matahari diperlukan tanaman untuk proses fotosintesis dan

pembentukan umbi. Tanaman bawang merah menghendaki areal pertanaman terbuka, karena tanaman tersebut memerlukan penyinaran yang cukup panjang, sekitar 70%. Oleh karena itu, tanaman bawang merah dikelompokkan ke dalam tanaman berhari panjang. Bawang merah yang ditanam di daerah yang tidak cukup mendapat sinar matahari, misalnya tempat yang teduh, sering berkabut atau terlindung pepohonan, pembentukan umbinya tidak sempurna, sehingga ukurannya menjadi kecil-kecil. Selanjutnya, suhu udara yang ideal untuk tanaman bawang merah adalah $25-32^{\circ}\text{C}$. Bawang merah yang ditanam di daerah dengan suhu di bawah 22°C , pembentukan umbinya terhambat, bahkan sering tidak membentuk umbi sama sekali. Di samping suhu, untuk dapat tumbuh dan berkembang dengan baik serta hasil panen yang optimal, bawang merah menghendaki kelembaban udara nisbi antara 80%-90% (Samadi dan Cahyono, 1996; Anonim, 1998).

Angin merupakan faktor iklim yang juga berpengaruh terhadap pertanaman tanaman bawang merah. Sistem perakaran tanaman bawang merah yang sangat dangkal, maka angin kencang yang berhembus terus-menerus secara langsung dapat menyebabkan kerusakan tanaman, terutama tanaman sering kali roboh. Angin juga berpengaruh terhadap

kondisi tanah, dan secara tidak langsung mempengaruhi pertanaman tanaman. Angin yang berhembus kencang secara terus-menerus, akan mempercepat proses penguapan air, sehingga tanah menjadi cepat kering dan mengeras, yang dapat menyebabkan udara dan air dalam tanah tidak cukup seimbang banyaknya. Akibatnya, pertanaman tanaman terhambat karena kebutuhan air dan oksigen untuk pernafasan tidak cukup

3.8. Perkembangan epidemi

Perkembangan penyakit akan menjadi penting apabila penyakit tersebut berkembang pada daerah yang luas sehingga menimbulkan epidemi penyakit yang parah. Hal ini terjadi pada faktor-faktor lingkungan yang mendukung baik secara terus menerus maupun secara terputus-putus dan mengalami siklus perkembangan yang berulang-ulang. Pada lahan yang sempit walaupun terdapat patogen hampir tidak terjadi epidemi yang parah lingkungan yang mendukung pathogen juga dapat melakukan siklusnya berulang dan memerlukan waktu sebelum patogen dapat menyebabkan epidemi yang parah dan merugikan secara ekonomis. Sekali populasi patogen terdapat, maka akan dapat menyerang dan

menyebarkan di pertanaman sekitarnya, walaupun dalam waktu yang pendek seperti dalam beberapa hari.

Epidemi penyakit tanaman dapat terjadi pada kebun, green house, lahan sempit, aka tetapi epidemi biasanya memerlukan perkembangan dan penyebaran patogen yang cepat pada jenis tanaman tertentu yang ditanam pada areal yang luas, seperti wilayah pedesaan, kabupaten, propinsi maupun negara. Oleh karena itu komponen utama terjadinya epidemi adalah wilayah pertanaman yang luas dengan jenis yang sama dan tanaman saling berdekatan. Komponen kedua terjadinya epidemi adalah adanya patogen virulen. Kesesuaian kedua komponen tersebut terjadi setiap hari dan terdapat pada banyak lokasi. Akan tetapi kebanyakan penyakit tersebut terjadi secara lokal dan berbagai tingkat keparahan sedikit merusak tanaman serta berkembang terbatas sehingga tidak pernah menjadi epidemi. Epidemi terjadi apabila terdapat kombinasi dan perkembangan kondisi yang sesuai. Hal ini seperti kelembaban dan suhu, angin vektor, bersesuaian dengan fase iap reproduksi patogen.

Dengan, demikian untuk perkembangan epidemi, maka sejumlaht inokulum awal harus terbawa oleh angin maupun vektor untuk sampai pada tanaman dan tanaman rentan akan

segera terinfeksi. Kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban harus sesuai untuk perkecambahan atau infeksi. Setelah infeksi kondisi suhu juga harus sesuai untuk pertumbuhan patogen secara cepat dan reproduksinya (masa inkubasi dan siklus infeksi pendek), sehingga produksi spora segera tampak.. Kelembaban (hujan, kabut, embun) harus sesuai dan berlangsung cukup lama untuk melepaskan spora yang melimpah. Angin dengan suhu dan kelembaban yang sesuai dapat menyebabkan spora terbawa menuju tanaman yang selanjutnya, tanaman menjadi rentan.

Pada lokasi baru dengan kondisi angin, suhu dan kelembaban, vektor yang sama dapat menyebabkan infeksi, reproduksi, dan penyebarannya dapat segera terjadi. Selanjutnya kondisi tersebut dapat berulang ulang sehingga patogen dapat berlipat ganda yang dapat menambah jumlah infeksi tanaman inang. Infeksi yang berulang-ulang biasanya menyebabkan kerusakan hampir pada setiap tanaman pada area yang terkena epidemi., walaupun keseragaman tanaman dan ukuran area dan cuaca yang sesuai menentukan penyebaran akhir epidemi.

Kombinasi kondisi lingkungan yang sesuai untuk perkembangan penyakit tidak terlalu sering terjadi pada areal

yang luas, sehingga kerusakan yang luar biasa pada seluruh areal pertanaman relatif jarang. Akan tetapi epidemi kecil pada suatu lahan atau wilayah desa sering terjadi. Dengan kebanyakan penyakit, seperti, penyakit hawar daun kentang, apple scab, dan penyakit karat biji-bijian sereal, dengan kondisi lingkungan yang biasanya sesuai, maka epidemi dapat terjadi setiap tahun akan tetapi apabila tidak terdapat pengendalian, varietas tahan, dan sebagainya, maka dapat terhindar dari epidemi tersebut.

IV. DASAR-DASAR MONITORING DAN PERAMALAN EPIDEMI

Parameter pengamatan dalam penelitian epidemi

Parameter yang digunakan dalam penelitian epidemiologi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yakni yang bersifat abiotik dan biotik. Parameter abiotik meliputi komponen cuaca, seperti curah hujan, kelembaban, suhu, intensitas cahaya matahari, kecepatan angin. Parameter biotik diantaranya, intensitas serangan, jumlah spora yang tertangkap, jumlah propagul.

Monitoring dan peramalan merupakan strategi di dalam pengendalian penyakit yang memerlukan data sebagai input untuk mengambil tindakan, seperti data tanaman inang, lingkungan dan jenis patogen.

Penggunaan faktor-faktor cuaca untuk monitoring terjadinya epidemi sering mendapatkan banyak kesulitan. Kesulitan tersebut diantaranya untuk mendapatkan pengamatan yang kontinyu pada beberapa faktor seperti suhu, kelembaban, kebasahan daun dan hujan) pada beberapa lokasi kanopi tanaman dengan peralatan mekanis yang menghasilkan data kasar yang dicatat dari pengamatan yang

jarang dengan menggunakan tinta dan kertas. Sejak tahun 1970 telah dikembangkan peralatan elektronik yang dihubungkan dengan komputer sehingga dapat mencatat variabel lingkungan lebih akurat. Peralatan tersebut mempunyai sensor yang peka terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat dimasukkan dalam sistem peramalan untuk mengendalikan penyakit tanaman.

Beberapa peralatan elektronik tradisional telah digunakan untuk mengukur variabel lingkungan. Pengukuran suhu telah dilakukan dengan menggunakan berbagai tipe thermometer, hygrothermograf, thermocouple, dan khususnya menggunakan thermistor (peralatan ini menggunakan semikonduktor yang ketahanan elektriknya berubah mengikuti perubahan suhu). Pengukuran kelembaban relatif dilakukan dengan menggunakan higrothermograf (yang tergantung dengan kontraksi dan pengembangan rambut manusia terhadap perubahan kelembaban relatif), dengan psikrometer yang berventilasi (terdiri dari termometer basah dan bola kering atau thermistor basah dan kering), atau dengan lempeng elektroda polistirin (yang ketahanan elektriknya berubah secara logaretmik mengikuti kelembaban relatif). Kebasahan daun diukur dengan sensor tipe benang yang

memendek saat lembab dan mengendor saat kering dan serta dapat meninggalkan jejak tinta yang baik. Beberapa tipe kebasahan elektrik telah ada yang dapat dipasangkan pada daun atau diletakkan diantara daun daun.,peralatan tersebut mendeteksi dan mengukur lamanya hujan atau embun karena salah satunya peralatan membantu mendekatkan sirkuit antara dua pasang elektrode. Hujan, angin, dan awan (irradiasi) masih diukur dengan peralatan tradisional (rain funnels dan tipping bucket merupakan pengukur hujan, cup dan anemometer panas untuk mengukur kecepatan angin, vanes untuk mengetahui arah angin, piranometer untuk irradiasi). Beberapa peralatan ini masih perlu disesuaikan dengan pengamatan elektronik.

Dalam sistem pengamatan cuaca moderen, sensor cuaca dihubungkan dengan peralatan data logging. Data tersebut dapat dibaca pada tampilan digital atau dipindahkan pada kaset atau printer. Dari kaset data dapat dipindahkan ke mikrokomputer. Di sana dapat dilihat atau dipindahkan ke dalam bahasa komputer lainnya, diorganisasikan ke dalam matrik untuk variabel cuaca, di plot dan dianalisa. Berdasarkan model penyakit tertentu, maka informasi cuaca yang akurat memberikan dasar yang berguna untuk meramal sporulasi dan

infeksi juga infeksi memberikan peringatan yang terbaik terhadap praktek manajemen penyakit.

Contoh sistem peramalan penyakit tanaman.

Biasanya, banyak informasi yang sudah tersedia dapat diperlukan untuk meramal penyakit. Dalam banyak hal, satu atau dua faktor yang dapat mempengaruhi perkembangan penyakit dan bersifat dominan sering dianggap cukup untuk membuat persamaan model peramalan yang akurat. Dengan demikian, sistem peramalan beberapa penyakit menggunakan kriteria inokulum awal. Penyakit tersebut diantaranya penyakit busuk jagung, penyakit kapang biru pada tembakau, penyakit gosong pada apel dan buah pear, busuk akar kacang kapri, dan penyakit lain yang terbawa oleh tanah seperti *Sclerotium* dan penyakit kista nematoda. Sistem peramalan penyakit seperti penyakit hawar daun pada kentang, penyakit *cercospora*, dan penyakit embun tepung pada anggur, penyakit karat daun pada gandum, hawar daun *Botrytis* dan kapang abu-abu, penyakit kuning beet, menggunakan jumlah inokulum awal, disamping siklus infeksi atau jumlah inokulum sekunder.

Peramalan berdasarkan jumlah inokulum awal

Pada penyakit layu jagung Stewart yang disebabkan oleh bakteri *Erwinia stewartii*, patogen ini dapat hidup pada musim dingin pada tubuh vektornya, yaitu kumbang jagung. Oleh karena itu jumlah penyakit yang berkembang pada musim semi dapat diramalkan apabila jumlah vektor pada musim dingin dapat diketahui. Hal ini dikarenakan pada saat itu jumlah inokulum awal yang diperkirakan pada awal musim dingin. Kumbang jagung dapat terbunuh oleh suhu rendah yang lama. Oleh karena itu, pada saat jumlah rata-rata selama tiga bulan dingin bulan desember, januari, pebruari kurang dari -1 C, maka kebanyakan kumbang vektor terbunuh dan sedikit penyakit layu bakteri selama musim semi berikutnya

Penyakit embun tepung pada tanaman tembakau yang disebabkan oleh *Peronospora tabacina* merupakan penyakit pada pembibitan sepanjang tahun di daerah pertanaman tembakau. Pada bulan januari saat suhu berada di atas normal, maka penyakit kapang biru diharapkan timbul pada saat awal pembibitan pada musim berikutnya dan dapat menyebabkan kerugian yang besar . sebaliknya pada bulan saat suhu berada di bawah normal, maka penyakit kapang biru diharapkan timbul pada akhir pembibitan dengan kerugian

yang sedikit. Apabila penyakit diharapkan pada pembibitan, maka pengendalian dilakukan dengan pencegahan untuk memudahkan pengendalian di lapangan.

Pada penyakit busuk akar pada tanaman kacang kapri yang disebabkan oleh jamur *Aphanomyces euteiches* dan penyakit lain yang disebabkan oleh jamur terbawa tanah dan nematoda, besar kerusakan dilapangan dapat diprediksi selama musim tanam dengan uji pada musim dingin di greenhouse. Dalam uji tersebut, tanaman peka ditanam pada green house dengan tanah yang diambil dari lahan yang diduga mengandung inokulum. Apabila hasil uji green house menunjukkan penyakit busuk akar yang parah, maka tanah yang diduga tidak dapat digunakan untuk menanam tanaman peka. Sebaliknya, apabila tanah sample menunjukkan kerusakan akar tanaman sedikit, maka tanaman yang akan ditanam diharapkan bebas dari penyakit tersebut. Pada beberapa penyakit terbawa tanah seperti *Sclerotium* dan *Verticillium*, dan kista nematoda *Heterodera* dan *Globodera*, maka inokulum awal dapat langsung diperkirakan dengan mengisolasi sklerotia jamur dan kista nematoda dan menghitungnya per gram tanah. Semakin besar jumlah propagul, semakin parah penyakit yang ditimbulkannya.

Pada penyakit apple dan pear yang disebabkan daripada pada suhu 17 C. Di California penyakit tersebut dapat outbreak pada pertanaman anggrek apabila suhu rata-ratanya melebihi garis peramalan penyakit sebesar 16,7 C pada tanggal 1 Maret sampai tanggal 1 Mei dengan suhu 14,4 C. Oleh karena itu apabila kondisi ini terjadi, maka penggunaan bakterisida selama musim semi ditujukan untuk mencegah terjadinya epidemi.

Peramalan berdasarkan kondisi cuaca yang mendukung perkembangan inokulum sekunder

Pada penyakit hawar daun pada tanaman kentang dan tomat yang disebabkan oleh *Phytophthora infestans*, maka inokulum awal biasanya jumlahnya sedikit dan terlalu kecil untuk dideteksi dan diukur secara langsung. Akan tetapi dengan inokulum yang rendah, inisiasi dan perkembangannya epidemi penyakit hawar daun dapat diprediksi dengan akurat apabila kelembaban dan suhu di lapangan tetap berada pada kisaran 10 -24 C, dan kelembaban relatif tetap berada di atas 75 phawarersen selama paling tidak 48 jam atau suhu 90 C selama 8 hari, infeksi dapat terjadi dan penyakit hawar daun diperkirakan 2 sampai 3 minggu berikutnya. Apabila dalam periode dan sesudahnya, beberapa jam turun hujan, embun,

atau kelembaban relatif mendekati kelembaban jenuh, maka akan terjadi epidemi penyakit hawar daun

Sistem peramalan dengan komputer telah dikembangkan untuk mengetahui terjadinya epidemi pada penyakit hawar daun dan penyakit lainya, misalnya Blitecast untuk hawar daun dan beberapa penyakit lain, Fast untuk penyakit *Alternaria solani* pada tanaman tomat, Tomcast untuk penyakit hawar daun awal , bercak daun *Septoria*, dan antraknose, serta Plam untuk penyakit kacang, kelembaban dan suhu dimonitor secara terus menerus. Dari informasi cuaca tersebut kerusakan penyakit dapat dihitung, nilai infeksi dan intensitas penyakit dapat diramalkan dan direkomendasi diberikan untuk petani seperti kapan mulai melakukan penyemprotan. Peramalan hawar daun saat ini, seperti penambahan data kelembaban dan suhu, informasi tentang tingkat ketahanan berbagai varietas kentang terhadap penyakit hawar daun dan efektivitas penggunaan fungisida. Informasi semua parameter sangat berguna dalam pemberian rekomendasi penggunaan fungisida.

Beberapa penyakit bercak spot, seperti *Cercospora* pada kacang tanah dan celery dan *Exserohilum* (*Helminthosporium*) *turcicum* pada tanaman jagung dapat

diramalkan melalui jumlah spora yang tertangkap setiap hari, suhu, dan lamanya periode kelembaban mendekati 100 persen. Periode infeksi diramalkan apabila kelembaban relatif (95_100 persen) berlangsung selama 10 jam , dan petani disarankan menggunakan bahan kimia secepatnya.

Peramalan berdasarkan jumlah inokulum awal dan inokulum sekunder

Pada penyakit scab pada tanaman apel yang disebabkan oleh jamur *Venturia inaequalis*, jumlah inokulum awal biasanya besar berupa askokarp dan dilepaskan selama 1 sampai 2 bulan mengikuti pecahnya tunas. Infeksi dari inokulum awal harus segera dicegah dengan penggunaan fungisida tepat waktu pada saat bunga merekah, munculnya daun pertama, dan pembentukan buah, kalau tidak maka seluruh tanaman akan gagal panen. Setelah infeksi awal terjadi pembentukan inokulum sekunder yang dapat berlipat ganda jumlahnya. Patogen tersebut dapat menginfeksi daun yang basah atau buah pada kisaran suhu 6- 28 C. Lamanya waktu dapat lebih pendek pada daun basah atau buah dengan suhu optimum 18-24 C selama 9 jam dibanding pada suhu 6-28 C selama 28 jam. Dengan kombinasi data suhu dan kelembaban, maka sistem peramalan scab apel tidak hanya meramal apakah epidemi terjadi atau tidak akan tetapi juga

apakah yang terjadi ringan, sedang, atau berat. Informasi demikian dikumpulkan dan dianalisa secara sendiri-sendiri atau dengan mikrokomputer pengindra cuaca. Untuk tujuan rekomendasi kepada para petani. Selanjutnya juga mengenai jenis dan saat kapan fungisida digunakan untuk mengendalikan penyakit.

Pada penyakit daun dan karat batang gandum yang disebabkan oleh *Puccinia recondita* dan *Puccinia graminis*, peramalan dalam waktu yang pendek 1-2 minggu terhadap intensitas penyakit berikut dapat diperoleh dengan cara menghitung kejadian penyakit, fase tumbuh tanaman, dan konsentrasi spora di udara

Pada penyakit virus tanaman yang ditularkan lewat serangga seperti penyakit kerdil kuning barley, virus mosaik cucumber dan penyakit kuning pada beet, kemungkinan dan kadang-kadang tingkat keparahan dan epidemi dapat diprediksi. Hal ini didukung dengan pertumbuhan inang tertentu. Sejumlah aphid ditangkap ke dalam perangkan yang diletakkan di lahan dan diuji virusnya dengan cara membiarkan makan pada tanaman sehat atau menggunakan analisa serologi dengan teknik Elisa atau dengan pelacak asam nukleat. Makin banak aphid yang dapat menularkan

virus dan makin cepat diketahui maka makin cepat dan makin parah infeksi yang disebabkan oleh virus. Prediksi tersebut dapat diperbaiki dengan memperhitungkan suhu akhir musim dingin dan awal musim semi, yang mempengaruhi ukuran populasi vektor aphid yang bertahan.

Sistem Peringatan Dini Penyakit

Pada banyak negara, beragam jenis sistem peringatan digunakan untuk satu atau lebih penyakit penting tanaman. Tujuan sistem peringatan ini adalah untuk memberitahukan petani akan dimulainya periode infeksi penyakit atau untuk memberitahu adanya infeksi yang sudah ada, sehingga petani dapat melakukan berbagai tindakan pengendalian yang sesuai dengan segera untuk mencegah terjadinya epidemi.

Pada banyak masalah yang ditemui menunjukkan bahwa sistem peringatan mulai dari petani, penyuluh lapangan, atau konsultan yang telah melakukan survei pada lahan tertentu secara rutin, atau saat kondisi cuaca sangat mendukung pematangan inokulum. Apabila inokulum seperti ascospora pada scab apel atau penyebab penyakit hawar daun ditemukan, maka kantor penyuluh di pedesaan diberitahu. Kantor penyuluh wilayah sebaliknya

mengembalikan pemberitahuan kepada pakar penyakit tanaman , yang mengumpulkan semua laporan penyakit di seluruh wilayah dengan e-mail, telepon,fax, radio, atau pada catatan kecil yang berkaitan dengan agen wilay (Pest Alert). Sebaliknya, menjawab dengan telepon, radio,e-mail,atau surat, memberitahu semua petani di wilayahnya. Konsekuensi epidemi regional atau nasional, maka penyuluh yang ahli penyakit memberitahu kantor survei penyakit di wilayah dari departemen pertanian, sebaliknya agen penyuluh yang berdekatan memberitahu agen yang mungkin terdapat penyakit tanaman. Sejak pertengahan tahun 1970, sistem peringatan terkomputerisasi untuk beberapa penyakit di beberapa wilayah tela dikembangkan. Beberapa diantaranya adalah blitecast yang menggunakan komputer terpusat yang memproses apakah data yang dikumpulkan di lapangan oleh petani dan dengan transmisi elektronik atau telepon pada kondisi cuaca tertentu atau pada interval tertentu. Selanjutnya komputer memproses data dan menentukan apakah periode infeksi segera terjadi, atau tidak terjadi juga membuat rekomendasi pada petani apakah perlu menyempot fungisida atau tidak dan bahan apa yang akan digunakan.

Setelah tahun 1980, komputer kecil untuk kegunaan peramalan dikembangkan dengan dilengkapi sensor dan dapat ditempatkan di lahan petani. Alat tersebut seperti Apple scab Predictor yang dapat memonitor dan mengumpulkan data cuaca, kelembaban relatif, lama daun basah, jumlah curah hujan, menganalisa data secara otomatis, membuat prediksi kejadian penyakit, pada bercak, membuat rekomendasi cara pengendalian. Alat yang sama dapat digunakan untuk berbagai penyakit yang di dalamnya sudah terdapat program peramalan, sehingga alat tersebut dapat diprogram kembali atau induk sirkuit program dapat dipertukarkan, Prediksi dari alat tersebut diperoleh dengan cara sederhana melalui tombol dan menayangkan kenyataan di lapangan, atau alat tersebut juga dapat dihubungkan dengan komputer pribadi apabila pemrosesan data tambahan dibutuhkan.

V. PENILAIAN PENYAKIT DAN KERUGIAN HASIL TANAMAN

5.1. PENILAIAN PENYAKIT

Penilaian penyakit disebut pula dengan phytopathometry, yakni “pengukuran” penyakit yang dinyatakan dengan nilai x sebagai fraksi penyakit. Di dalam pengukuran penyakit tidak ada cara yang dianggap paling sesuai untuk semua penyakit tanaman, akan tetapi ada suatu strategi yang secara umum dapat digunakan untuk mengetahui luasnya serangan patogen.

Large (1996) menyebutkan beberapa persyaratan diantaranya adalah:

- a) Pengkajian deskripsi morfologi dan lamanya perkembangan tanaman sehat dari pembibitan sampai panen, atau dari musim ke musim tanam berikutnya.
- b) Pengkajian lamanya penyakit pada tanaman di lapangan dengan semua kisaran serangan. Koleksi penting sebagai referensi seperti hasil menggambar, sketsa, catatan dan pengukuran yang berasal dari

pengamatan tanaman sehat dan sakit yang disebut “preliminary portofolio”.

- c) Hasil gambar dengan bantuan preliminary portofolio untuk diagram standard atau kunci lapang di dalam pentaksiran penyakit, dan selanjutnya sebagai kunci sederhana dapat digunakan oleh semua peneliti.
- d) Pelaksanaan pengujian lapangan yang berkesinambungan selama beberapa tahun yang menghasilkan kurva perkembangan penyakit digunakan untuk memetakan kurva tersebut terhadap kunci lapangan. Selanjutnya pencatatan hasil sesuai dengan plot-plot yang dikondisikan menurut tanamnya. Disamping itu diberikan pembanding dengan menggunakan jumlah plot yang sama dan bebas penyakit dengan menggunakan jumlah plot yang sama dan bebas penyakit dengan penggunaan fungisida secara intensif.
- e) Dari hasil penelitian di lapangan, kurva perkembangan penyakit dipilih yang terbaik untuk menentukan tingkat kerusakan di dalam survey penyakit dan kalibrasi pentaksiran dapat dilakukan terhadap pengurangan hasil. Selanjutnya Large juga menambahkan bahwa taktik pentaksiran penyakit harus disesuaikan dengan

perbedaan berbagai penyakit dalam penelitian. Lebih lanjut taktik tersebut tergantung dari tujuan yang akan dicapai dan peralatan yang tersedia. Hasilnya harus mudah dipahami oleh yang lainnya atau dapat diterapkan pada banyak lingkungan yang berbeda.

5.1.1. Preliminary Portofolia pada Tanaman Inang

Sebagaimana persyaratan di atas, maka premiliminary portolio harus memasukkan sketsa karakteristik fase perkembangan tanaman inang. Fase-fase yang mudah dibedakan dicatat dan diberi kode. Untuk mengetahui mudah tidaknya membedakan perlu diuji dengan menanyakan pada orang lain baik yang sudah terlatih maupun belum. Pemilihan yang teliti dan menggambar ulang dapat mengurangi preliminary potofolio yang besar menjadi skala yang sederhana dan menjadi standard diagram yang mudah untuk melakukan pentaksiran secara cepat terhadap fase pertanaman.

Terdapat banyak kunci dan diagram yang telah dipublikasikan yang terkenal diantaranya adalah skala Fekks pada gandum dan biji-bijian lain, yang ditemukan oleh Feekes

(1941) dan diilustrikan oleh large (1954) seperti terdapat pada Tabel 3. Disamping itu FAO dalam Chiarappa (1971) telah mempublikasikan suatu koleksi metoda pentaksiran penyakit pada sejumlah penyakit. Indikasi fenologi tanaman seringkali diperlukan di dalam peramalan penyakit dan prediksi kehilangan hasil yang telah disedehanakan dengan menggunakan kunci atau skala dan serta diagram standard fase pertanaman.

Berikut adalah beberapa estimasi dan pengukuran sederhana seperti: penutupan tanah dimana persen, jarak tanam dalam meter, tinggi tanaman , dan indek area daun. Pengukuran indeks luas daun dapat dilakukan secara cepat dengan salah satu metode berikut: Mengukur panjang dan lebar, menghitung hasilnya, dan mengkoreksi dengan mengalikan dengan faktor koreksi untuk setiap bentuk daun yang ditentukan dengan peneltian terpisah. Membandingkan daun dengan diagram area standard dengan ukuran daun yang dirancang untuk tujuan tersebut.

Memperkirakan luas daun dengan cara mengkaliberasikan grid yang dicetak pada bahan transparan. Semua metode di atas tidak merusak dengan kata lain pengukuran dapat dilakukan ditempat dan dapat diulang

menurut interval tertentu, karena tanaman dan daun yang diukur tetap tidak rusak. Kematian bagian tanaman merupakan aspek perkembangan yang normal pada tanaman sehat. Dalam kunci dan diagram, penuaan dan kematian bagian tanaman harus jelas dibedakan dari hilangnya bagian tanaman karena sakit.

5.1.2. Metode Pentaksiran persen infeksi dan intensitas serangan

Persyaratan dasar di dalam penaksiran penyakit adalah harus mempunyai keakuratan yang praktis dimana dapat digunakan untuk membandingkan dari satu peneliti ke peneliti lain, dari suatu tempat ke tempat lain dari satu musim ke musim lain. Metode pentaksiran penyakit harus memenuhi hal-hal sebagai berikut: 1) dapat mengukur persen infeksi dan intensitas serangan 2) menghasilkan pengukuran yang obyektif sehingga hasilnya dapat dibandingkan dari satu peneliti ke peneliti lain dengan waktu yang berbeda 3) sederhana dan cepat untuk digunakan 4) sesuai dengan fase pertanaman inang.

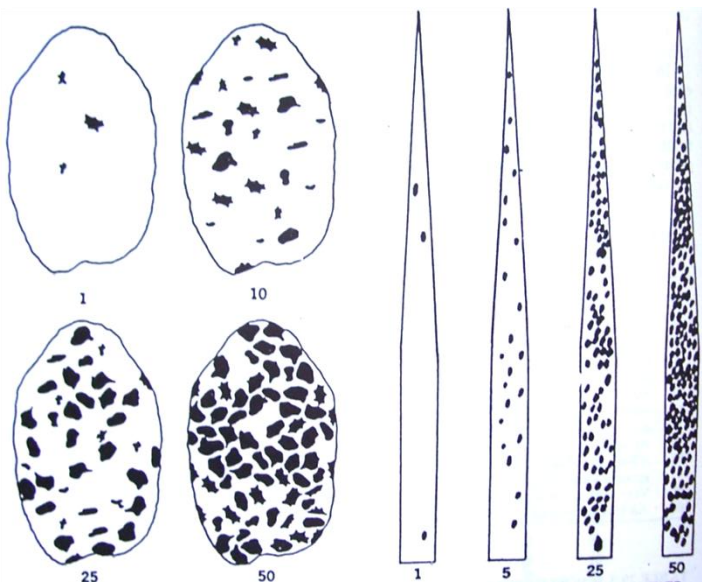
Gejala sistematis yang ditunjukkan oleh matinya tanaman secara cepat atau penyakit menunjukkan besarnya kerusakan sama pada sebagian besar tanaman, maka

pengukuran dapat dinyatakan dengan persen tanaman yang menunjukkan gejala dan kerusakan. Sedangkan untuk gejala yang ditunjukkan oleh tanaman dengan besar yang tidak sama di antara tanaman, maka pentaksiran penyakit dilakukan dengan menyatakan intensitas serangan pada setiap tanaman atau bagian tanaman.

Kunci pentaksiran penyakit menurut Large (1966) tergantung kepada keputusan visual dan arena mata manusia menentukan nilai gejala penyakit secara logaritmik, maka berbagai modifikasi skala persen diusahakan menggunakan intensitas serangan. Lebih lanjut mata cenderung mentaksir luas penyakit apabila lebih besar dari 50% , maka mata cenderung memperkirakan jaringan yang sehat. Indeks penyakit dapat dilakukan dengan cara menjumlahkan pentaksiran penyakit setiap tanaman dan dibagi dengan jumlah tanaman yang diukur.

Untuk membangun kunci pentaksiran penyakit perlu mempelajari penyakit pada semua kisaran serangan dan pada fase pertanaman tanaman yang berbeda. Menggambar dan mengukur penyakit pada berbagai fase perkembangan diperlukan dan berbagai bagian tanaman. Hal ini dilakukan untuk mengembangkan diagram standard. Sebenarnya skala

tersebut disederhanakan untuk mempermudah pengukuran yang akurat pada kondisi lapangan. Beberapa contoh deskriptif dan kunci taksiran penyakit berupa gambar terdapat pada gambar 3 di bawah.



Gambar 5.1 : Diagram penyakit pada umbi kentang dan gandum

Beberapa peneliti menaksir persen penyakit dengan menggunakan teknik sensing (penginderaan). Sebagai contoh, persen penyakit pada penyakit karat pada gandum *Puccinia graminis* pada tanaman diukur dengan menggunakan pengangkap spora untuk menangkap spora yang berasal dari

tanaman sakit. Metoda tersebut mengasumsikan bahwa produksi spora secara langsung berkaitan dengan jumlah penyakit pada lahan pertanaman. Pentaksiran penyakit dibuat yang dibuat tanpa berjalan pada lahan mempunyai keuntungan, yaitu laju perkembangan penyakit tidak dibantu oleh akibat perjalananan masuk ke lahan. Di samping itu penggunaan tunaan teknik penknik penginderaan jarak jauh dengan menggunakan scanner elektronik dan instrument lainnya dapat menghasilkan perkiraan kuantitinderaan jarak jauh dengan menggunakan scanner elektronik dan instrument lainnya dapat menghasilkan perkiraan kuantitatatif persen penyakit dari data yang diperoleh dengan fif persen penyakit dari data yang diperoleh dengan fotografi udara. Fotografi demikian dapat diperoleh melalui pesawat terbang maupun

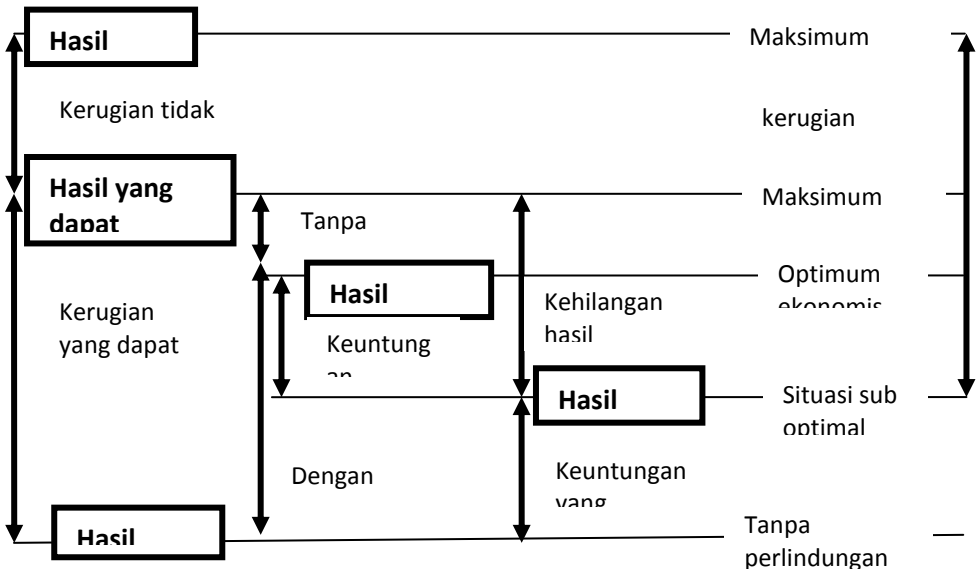
5.2. HASIL DAN KERUGIAN HASIL

5.2.1. Hasil

Bab ini akan menjelaskan semua tipe kehilangan hasil yang dapat terjadi akibat epidemi. Sebelumnya perlu mengetahui terminologi yang dikeluarkan oleh organisasi pangan dan pertanian persatuan bangsa-bangsa di dalam menentukan metoda penilaian kerugian tanaman (crop). Crop adalah suatu unit tanaman yang ditanam untuk tujuan

menghasilkan makanan, serat, penyedap atau produk-produk lainnya. Hasil (yield) merupakan produksi tanaman yang dapat diukur. Kerugian tanaman (crop loss) adalah pengurangan jumlah dan atau kualitas hasil. Kerusakan tanaman (crop damage) merupakan istilah yang digunakan untuk menunjukkan luka karena organisme yang merusak yang dapat mengakibatkan kehilangan hasil yang dapat terukur.

Dalam epidemiologi dikenal adanya tingkatan hasil sebagaimana terdapat pada bagan di bawah



Hasil primitif

Adalah hasil yang diperoleh dari sistem pertanian klasik dengan ciri hasil stabil

Hasil yang dapat dicapai (attainable yield)

Adalah hasil tanaman yang ditanam pada kondisi optimum dengan menggunakan teknologi modern

Hasil ekonomis

Adalah hasil yang diperoleh karena adanya manajemen bercocok tanam yang memadai, bervariasi menurut lokal tanaman dan hasilnya sama atau di bawah attainable yield

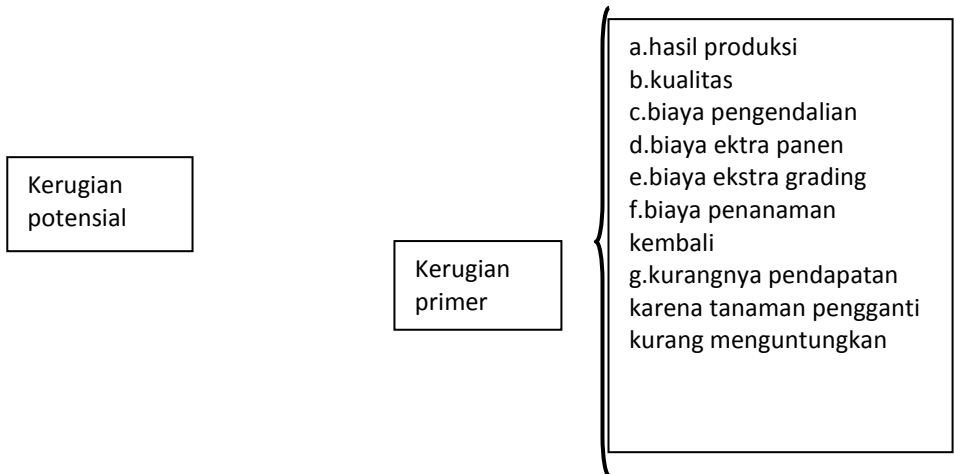
Hasil nyata

Hasil yang diperoleh dengan cara bercocok tanam yang berlaku saat ini, di negara maju hasilnya mendekati hasil ekonomi, di negara sedang berkembang jauh di bawah hasil ekonomi.

5.2.2. Kerugian Hasil

Pengaruh kerugian hasil sebagai akibat adanya epidemi dalam kehidupan masyarakat baik individu maupun sosial merupakan suatu kesatuan yang sangat beragam sehingga

hanya dapat digambarkan secara umum ke dalam tipologi kerugian pada bagan di bawah.

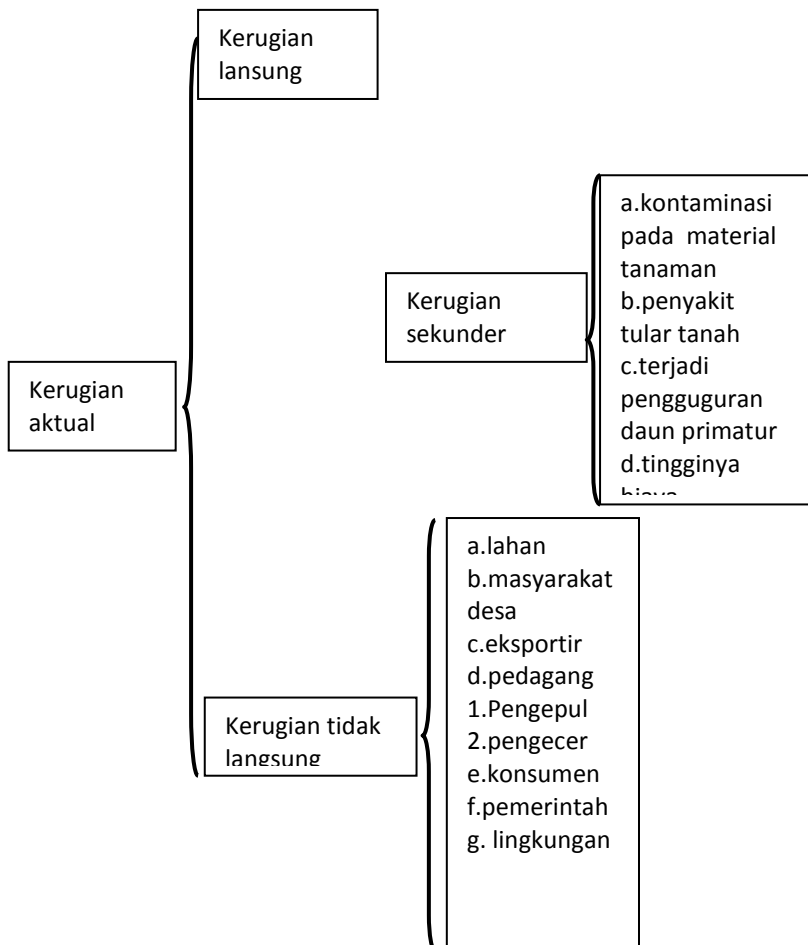


a. Kerugian potensial dan kerugian nyata

Kerugian potensial karena tidak adanya usaha pengendalian. Kerugian nyata adalah kerugian yang terjadi dan masih berlangsung. Kerugian nyata terdiri dari kerugian langsung dan tak langsung.

Kerugian langsung adalah kerugian jumlah dan kualitas produksi maupun hasil. Kerugian langsung juga terdiri dari kerugian primer dan sekunder.

Kerugian tidak langsung apabila kerugian mengarah pada pengaruh ekonomi sosial dari penyakit tanaman. Contoh ; kerugian petani, masyarakat desa, konsumen, eksporter, negara, lingkungan.



b. Kerugian primer dan sekunder

Kerugian primer adalah kerugian sebelum dan sesudah panen karena penyakit tanaman

Kerugian sekunder adalah kerugian di dalam kapasitas hasil musim tanaman berikutnya.

Beberapa pendapat lain

Kerugian dibagi menjadi kerugian insidentil dan kerugian reguler.

Kerugian insidentil adalah kerugian yang terjadi sekali atau interval yang tidak teratur.

Kerugian reguler adalah kerugian yang terjadi setiap musim dengan jumlah sedikit atau banyak.

Kerugian transisional dan struktural

Kerugian transisional adalah kerugian yang terjadi sementara karena penggantian sistem tanam

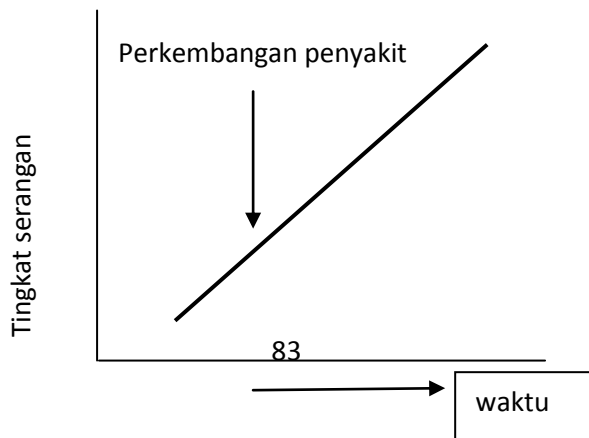
Kerugian struktural adalah kerugian yang tidak dapat dihindarkan pada budidaya pertanian tertentu.

5.2.3. Perhitungan kehilangan hasil

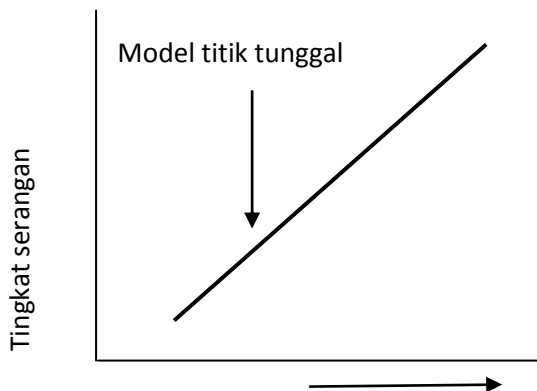
Model Kehilangan Hasil

Metode regresi berganda telah digunakan pada beberapa penelitian untuk mengembangkan hubungan antara pola penyakit dan kehilangan hasil Sallams (1948) *Helminthosporium sativum* dan *Fusarium spp.* terhadap hasil gandum di Kanada. Terdapat tiga model peramalan kehilangan hasil menurut Zadoks (1974), yaitu:

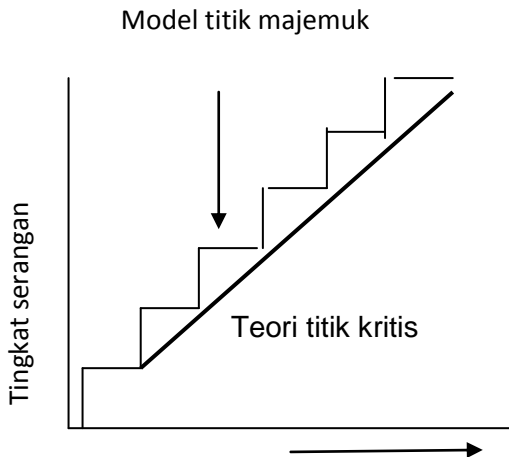
- 1) Model Titik Kritis adalah memilih tingkat kerusakan pada saat tertentu dan meramalkan kehilangan hasil dengan menggunakan persamaan regresi yang telah ditentukan pada masa yang telah lewat. Penentuan waktu biasanya adalah waktu fisiologis atau suatu masa yang direpresentasikan oleh fase pertanaman tertentu.



- 2) Model ambang kritis adalah model yang didasarkan pada asumsi yang kurang tepat yaitu bahwa produk hasil secara perlahan-lahan berhenti dimana saat tingkat penyakit mencapai titik kritis. Kehilangan hasil ditentukan dengan cara mengukut hasil berdasarkan kurva waktu pertanaman tanaman sehat, sehingga kehilangan hasil yang diperkirakan merupakan



perbedaan hasil akhir tanaman sehat dengan hasil yang telah ada pada saat titik kritis tercapai.



4). Model Periode bebas penyakit adalah menghubungkan kehilangan hasil yang akan datang terhadap lamanya periode bebas penyakit. Tidak ada tingkatan yang jelas dari akhir bebas penyakit kecuali secara kasar dengan ambang kendali yang dianggap sebagai titik akhir.

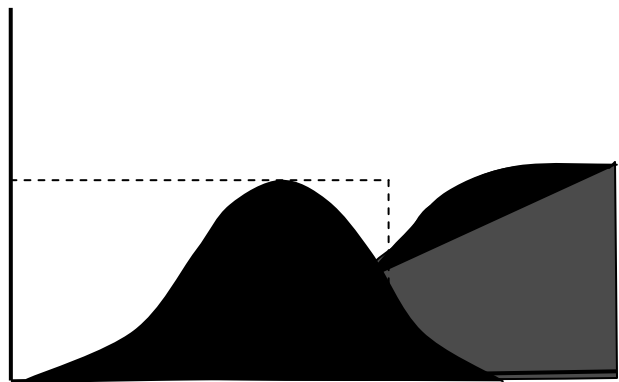
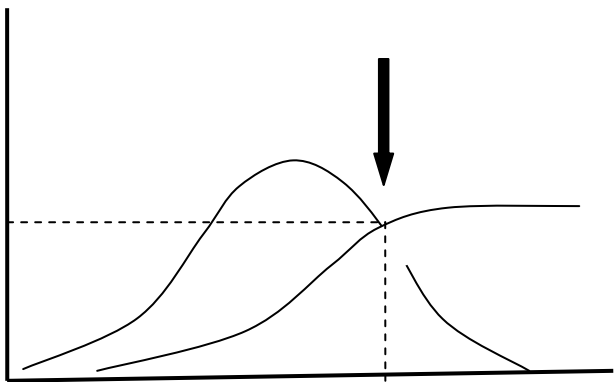
Selanjutnya menurut Kerr (1980) model kehilangan hasil dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

a) Model titik kritis atau titik tunggal yang didasarkan pada penaksiran penyakit yang dibuat pada waktu tertentu dalam kehidupan tanaman (titik kritis) kemudian dikaitkan dengan kehilangan hasil. Hubungan antara besarnya penyakit dan persen kehilangan hasil biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan regresi linier dimana variabel bebasnya adalah intensitas penyakit (X) dan persen kehilangan hasil (Y) merupakan variabel tak bebas. Kelemahan model tersebut adalah tidak dapat membedakan terjadinya penyakit dalam waktu yang pendek dan parah dengan terjadinya penyakit pada waktu yang lama dan kurang parah dimana pada saat kritis besarnya intensitas penyakit sama.

b) Area di bawah Kurva perkembangan Penyakit

Van der Plank (1963) menyarankan bahwa hubungan antara penyakit dan kehilangan hasil dapat ditentukan dengan mempelajari area di bawah kurva perkembangan penyakit. Model tersebut mengasumsikan bahwa 1) luka sebanding dengan besarnya penyakit 2) bahwa luka sebanding dengan lamanya berlangsungnya penyakit. Keuntungan model tersebut dibanding dengan model titik kritis adalah mampu membedakan dua epidemi yang berbeda luas kurvanya, akan

tetapi mempunyai persen tingkat serangan yang sama pada saat kritis.



5.2. Contoh-contoh kehilangan hasil pada beberapa komoditi

VI. PENGENDALIAN PENYAKIT TANAMAN BERDASARKAN PERAMALAN EPIDEMI

Peramalan Epidemi Penyakit Tanaman

Di dalam peramalan epidemi penyakit tanaman terdapat beberapa alasan penting menurut Sastrahidayat (1995), yaitu:

1. Penyakit dan tanamannya mempunyai arti ekonomi penting di Indonesia sampai saat ini belum banyak dilakukan karena peramalan ini perlu tanaman.
2. Pemberantasan dengan pestisida di anggap merupakan pemborosan dan merusak lingkungan. Dalam kenyataannya dalam populasi penyebab penyakit tidak selamanya meningkat terus mengingat banyak factor-faktor pembatas. Melihat kenyataan ini penggunaan pestisida pada saat populasi menurun misalnya adalah perbuatan pemborosan bahkan dapat merusak lingkungan baik fisik maupun biologis.

Dengan demikian pengetahuan mengenai saat-saat mana pestida diperlukan adalah merupakan langkah yang tepat dalam membantu kenyataan tersebut.

3. Perlu adanya pemberantasan yang efisien. Pemanfaatan pestisida tertentu misalnya Cu dan Ni, meskipun mahal namun dapat dianjurkan bila dianggap hal tersebut lebih efisien dan efektif dibanding jenis lainnya.
4. Penyakit berkembang menurut pola yang tidak tetap dari musim ke musim. Di Indonesia dengan adanya dua musim (hujan dan panas) sering menyebabkan perkembangan penyakit tertentu yang berbedaa jauh, misalnya, penyakit tepung berkembang dan terjadi epidemic pada musim kemarau dalam musim hujan relative menurun.

Apabila tersedia cukup data, maka seorang peneliti dapat melakukan peramalan penyakit. Peneliti tersebut melakukan untuk kepentingan intelektual, sedangkan yang lain melakukan untu suatu penelitian akan melengkapi informasi dasar yang ada kaitannya antara penyakit dan lingkungannya. Akan tetapi penelit. Kebanyakan penelitian untuk peramalan

penyakit dilakukan dengan harapan dapat digunakan cara pengendalian penyakit secara praktis yang diperoleh oleh hasil peramalan yang akurat. Peramalan penyakit tersebut dapat mengurangi frekuensi penyemprotan yang diperlukan.

Peramalan Berdasarkan Kondisi Cuaca

Peramalan dapat dilakukan dengan suatu antara tingkat serangan dengan cuaca atau faktor biologi. Apabila cuaca yang mendukung penyakit dapat diramal, maka akan merupakan keuntungan yang besar. Dengan demikian dapat memungkinkan petani untuk menggunakan semprotan protektif sebelum infeksi terjadi. Sehingga peramalan cuaca, yang berdasarkan denah ikhtisar cuaca akan menjadi lebih penting dalam peramalan penyakit tanaman dimana dalam hal ini penggunaan computer diperlukan.

Sistem prediksi computer untuk epidemi penyakit hawar daun telah dikembangkan juga pada penyakit lainnya, sebagai contoh, Blitcast untuk hawar daun, Fast untuk meramal *Alternaria solani* pada tomat, Tomcast (untuk tomat) untuk early blight, bercak septoria dan antraknose dan Palm untuk spot kacang, kelembaban dan suhu dimonitor terus. Dari informasi cuaca ini kerusakan dihitung, tingkat infeksi dan

penyakit diramalkan dan direkomendasikan dikeluarkan untuk petani seperti saat kapan harus menyemprot. Sebagai data tambahan adalah tingkat ketahanan varietas kentang terhadap hawar daun dan efektifitas fungisida yang digunakan. System peramalan computer lain yaitu Tom untuk manajemen penyakit tomat, anggur (Grap ES), gandum (Concelllor), peach dan nectarine (Calex), apel (pomme), gandum (MoreCrop).

Pembuatan model peramalan

Suatu epidemi merupakan proses dinamis yang dimulai dari satu atau beberapa tanaman yang selanjutnya, tergantung pada jenis, intensitas dan lamanya faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi inang dan patogen, kemudian menyebabkan tingkat kerusakan dan menyebar ke wilayah yang lebih luas sampai akhirnya mati. Dalam banyak hal, kenampakan, perkembangan, dan penyebaran epidemi menyerupai angin topan. Sehingga manusia tertarik untuk menentukan elemen-elemen dan kondisi yang memicu masalah di atas, kondisi yang mempengaruhi laju peningkatan dan arah lintasanny, juga kondisi yang mengakibatkan kematian. Mengenai fenomena tersebut, maka observasi, pengukuran, formula matematik dan komputer banyak

digunakan untuk meneliti perkembangan dan meramal ukuran, lintasan, dan waktu serangan pada lokasi-lokasi tertentu.

Struktur elemen dari suatu epidemi berasal dari interaksi patogen inang atau dari populasinya. Lingkungan dimana manusia yang terlibat di dalamnya merupakan bagian dari sistem dengan penghambat yang bekerja cepat dari elemen tersebut misalnya daun yang kering dan menghambat infeksi atau fungisida pelindung yang menghambat perkembangan spora. Komponen-komponen dari suatu epidemiologi diketahui dengan fungsi mereka sebagai $g(x)$ atau state variabel. Hal yang sama, struktur dari seluruh epidemi diketahui dengan menjumlahkan seluruh fungsi yang terlibat, seperti $y=f(x_1, \dots, x_n)$. Walau setiap $x_i=g(x)$, maka tidak diragukan/jelas terhadap total struktur, masing-masing mempunyai variabel kuantitatif yang kuat pengaruhnya atau nilai-nilainya ditentukan oleh skopnya atau kondisi sebelumnya, dan dengan bermacam-macam faktor antagonistik. Konsekuensinya, epidemi tidak ditentukan oleh hubungan penyebab linier tetapi oleh program yang ditentukan oleh komponen-komponen dan fungsi-fungsi yang khas dalam strukturnya. Lingkungan dan keikutsertaan manusia membatasi program dan memberikan rangsangan untuk

operasionalnya. Belainan dengan beberapa penghambat di dalam populasi seperti proses pengacakan, kekambuhan, pembatasan-pembatasan, keterbatasan dalam ambang ekonomi, mereka merangsang dan mengatur suatu struktur laten, yang kemudian menghasilkan perilaku seperti pertumbuhan dan penurunan dari populasi bercak, ruang dan penyebaran, umur dan lain-lain.

Semua model baik dibangun untuk tujuan riset atau manajemen, didasarkan pada pencampuran data, pengetahuan dan pendugaan. Diperbolehkan bahkan diinginkan untuk model penelitian mempunyai proporsi dugaan yang tinggi. Model yang beorientasi untuk menejemen tidak hanya mempunyai proporsi dugaan yang kecil, akan tetapi sebaiknya didasarkan pada data dan pengetahuan yang relatif dapat dipercaya.

Istilah model terdiri dari beraga arti, dan jumlah model akan sebesar kompleksitas dan kegunaannya. Model merupakan abstraksi dari dunia yang sebenarnya, dan pendekatan yang sederhana terhadap realita. Hal ini menekankan bahwa suatu model yang lengkap dan selesai. Setiap model berdasarkan pengalaman dan penelitian terdahulu dan harus diperiksa kembali dan diperbaiki dengan

penelitian. Pemeriksaan yang bersifat penelitian dapat karena kurangnya akurasi penelitian atau kurangnya metode atau perlengkapan yang memadai.

Model mendisiplinkan penelitian dan mengorganisir pengetahuan dengan demikian memberikan konsep deduktif atau induktif terhadap kemajuan ilmiah lebih lanjut dengan cara penelitian. Pemahaman dan komunikasi terhadap fenomena akan sangat terhambat tanpa model. Hal ini merupakan bidang dari model konseptual. Akan tetapi, model juga dapat langsung digunakan untuk prediksi maupun pengendalian. Suatu sistem yang kompleks seperti epidemi dapat dipelajari dengan memodelkan elemen-elemennya sebagai suatu subsistem yang mempresentasikan komponen dasar dengan persyaratan-persyaratan yang umum. Hal ini diberikan dengan komponen-komponen yang lebih spesifik sampai hanya komponen-komponen yang benar-benar spesifik yang tertinggal pada suatu epidemi. Prosedur tersebut memungkinkan untuk menangani keragaman epidemi yang besar. Selanjutnya, ditambahkan bahwa fenomena yang sama dapat diterangkan dengan berbagai model.

Dalam pembuatan model perlu dibangun korelasi (a) kejadian penyakit (b) faktor cuaca dan biologi. Berikut

diberikan contoh prosedur pembuataern model yang diadopsi dari penelitian di Srilangka pada tanaman teh terhadap penyakit blister,di sini akan dijelaskan rincian langkah-langkahnya, akan tetapi terdapat dua hal umum yang tidak akan tercakup dalam penyakit tersebut Pertama, apabila kondisi cuaca mendukung, maka hal ini merupakan keuntungan. Karena petani dapat melakukan tindakan penyemprotan protektif sebelum terjadi infeksi dan apabila kondisi tanah tidak terlalu basah untuk dilewati peralatan mesin. Sehingga peramalan cuaca berdasarkan bagan sinoptik menjadi semakin penting dalam peramalan penyakit. Kedua, perkembangan model terkini dengan menggunakan analisis sistem untuk menghasilkan model simulasi beberapa penyakit tanaman, Hal ini memerlukan komputer. Model simulasi bergantung pada informasi biologi dasar. Dan tentunya informasi tersebut diperoleh sebelum model dapat dikembangkan. Pada penyakit jamur informasi penting seperti pembentukan sporangiospora, perkembangan spora, jumlah spora yang dihasilkan. Penyebaran spora, perkecambahan spora dan sebagainya. Pengaruh curah hujan, suhu, kelembaban, angin, sinar matahari, awan dan sebagainya pada proses biologi harus ditentukan secara kuantitatif sebelum model dibuat. Terdapat sedikit penyakit yang

mendapatkan perhatian semacam ini dan masih terdapat banyak keraguan mengenai akurasi model tersebut. Model yang mempunyai akurasi akan mempunyai banyak keuntungan. Dengan demikian banyak pertanyaan penting yang dapat diselesaikan oleh komputer. Sebagai contoh data cuaca yang berasal dari daerah lain dapat dimasukkan ke dalam komputer dan kemudian akan menunjukkan dimana penyakit menjadi berkembang. Peraturan karantina yang lebih efisien dapat dibuat berdasarkan data tersebut. Terdapat banyak keuntungan lain akan tetapi masih perlu menunggu model yang sangat akurat.

Selanjutnya dalam bab ini akan menjelaskan rincian perkembangan sistem peramalan penyakit pada tanaman the di negara Srilangka. Penyakit tersebut disebabkan oleh jamur *Exobasidium vexans*. Sebagaimana disebutkan di atas bahwa penyakit ini mempunyai empat kriteria praktis untuk mendapatkan peramalan penyakit yang baik, yaitu: (a) Penyakit tersebut secara ekonomi penting. Dalam kenyataan ketika pertama diketahui Srilangka pada tahun 1946, maka terdapat kekhawatiran penyakit tersebut akan menghancurkan industri the sebagaimana penyakit karat pada tanaman kopi beberapa tahun sebelumnya. Disamping itu sebagaimana

diketahui bahwa serangan sebesar 35% atau lebih dapat merugikan secara ekonomi.

(b) Pengendalian secara rutin dapat merupakan suatu pemborosan. Satu-satunya cara pengendalian adalah dengan menggunakan penyemprotan fungisida yang biayanya mahal.

(c) Cara pengendalian yang efisien telah tersedia, walaupun mahal penyempotan dengan tembaga dan nickel merupakan cara pengendalian yang efisien.

(d) Kejadian penyakit berbeda dari musim ke musim dan dari tahun ke tahun. Srilangka mempunyai dua musim angin, dari selatan ke barat mulai Mei sampai Juli dan utara Timur dari September ke November. Pada bulan ini penyakit blight menjadi penting akan tetapi musim angin berubah cepat dari tahun ke tahun demikian pula diikuti oleh penyakit blight.

Langkah berikutnya adalah menentukan faktor-faktor meteorologi dan biologi yang akan digunakan untuk meramalkan kejadian penyakit. Tanaman teh merupakan tanaman yang selalu hijau dalam fase vegetatif di pangkas setiap empat tahun atau lebih. Hal ini berarti tidak ada tanda perubahan kerentanan dari satu musim ke musim yang lain. Hanya daun yang muda yang rentan terhadap penyakit blister

dan tanaman the dipangkas dan diperlakukan sedemikian rupa sehingga semua daun muda dibatasi pada bagian atas sehingga terekspos ke atmosfer dan tidak terjadi komplikasi dengan lingkungan mikro. Selama suhu sepanjang tahun relatif sama, maka penyakit tidak akan menjadi masalah. Selanjutnya faktor yang penting dalam perkembangan penyakit tersebut adalah kelembaban. Dalam kenyataan di Srilangka dan Indonesia faktor kelembaban merupakan faktor penting. Kelembaban dapat berupa curah hujan, kelembaban relatif, lama daun basah. Lama daun basah merupakan faktor yang paling penting karena menentukan spora jamur untuk berkecambah dan menginfeksi daun. Akan tetapi apabila suatu plot lama kebasahan daun pada kejadian penyakit 3 minggu, maka tidak ada korelasi yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa faktor penting. Faktor penting lain yang penting adalah jumlah spora ***E. vexans***.

Jumlah spora di udara dapat dihitung dengan menggunakan perangkat spora volumetric. Apabila data diperoleh, maka kejadian penyakit yang tinggi lebih tinggi dari yang diharapkan maka jumlah spora sangat tinggi, sebaliknya kejadian penyakit lebih rendah dari imultiegresi

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2$$

Yang dikembangkan dari $Y =$ kejadian penyakit, $x_1 =$ lama kebasahan daun, $x_2 =$ jumlah spora per liter udara dan a_1, a_2 , adalah konstanta. Hal ini memberikan prediksi yang akurat kejadian penyakit. Akan tetapi kurang praktis karena perkebunan teh tidak mempunyai peralatan untuk mengukur lama daun basah atau jumlah spora.

Lama daun basah tidak menjadi masalah serius apabila hubungannya dengan lamanya sinar matahari berkorelasi negatif. Hal ini berarti lama sinar matahari dapat menggantikan faktor lamanya daun basah.

Jumlah spora menimbulkan masalah karena diasumsikan bahwa secara sederhana berkaitan langsung dengan jumlah blister per unit area tanaman. Apabila populasi meningkat cepat, maka banyak jumlah individu spora yang muda, akan tetapi apabila populasi turun, maka banyak populasi spora yang tua. Blister muda akan bersporulasi lebih banyak daripada blister tua.

Contoh faktor kelembaban yang berpengaruh terhadap perkembangan penyakit terdapat pada tanaman bawang merah yang terserang *A. porri*. Menurut Everts dan Lacy (1990) bahwa pembentukan konidium *A. porri* pada bawang

Bombay (*Allium cepa*) sangat bergantung pada kelembaban relatif udara, apabila kelembabannya 75-85%, konidium yang terbentuk sangat sedikit, dan kemudian meningkat dengan meningkatnya kelembaban, sedangkan untuk perkecambahan konidium, lama permukaan daun basah (LPDB) saat pembentukannya sangat menentukan. Bila LPDB-nya 9 jam, hanya 26% konidium yang berkecambah, sedangkan bila lamanya daun basah 21 jam konidium yang berkecambah mencapai 96%. Kelembaban dan LPDB merupakan faktor-faktor iklim yang selalu berubah setiap musim, tergantung curah hujan, penguapan, kecepatan angin, intensitas cahaya, dan sebagainya.

Jika kondisinya memungkinkan, spora ini segera tumbuh membentuk jamur baru. Biasanya terjadi pada malam hari atau pagi hari ataupun siang hari saat cuaca mendung. Spora jamur ini tidak tahan pengaruh panas dan kekeringan. Faktor suhu dengan kisaran di atas 30⁰ C merupakan faktor antagonis bagi perkembangan penyakit bercak ungu apabila secara bersama-sama bekerja dengan faktor-faktor cuaca lain. Epidemi yang rendah terjadi pada daerah yang mempunyai suhu maksimum melebihi 30⁰ C, sedangkan pada daerah yang mempunyai suhu maksimum kurang dari batas suhu optimum

perkembangan jamur *A. porri*, maka terjadi epidemi yang tinggi. Apabila kondisinya tidak memungkinkan untuk tumbuh (berkecambah), spora ini dapat tumbuh sebagai saprofit dalam tanah pada sisa-sisa tanaman, pupuk kandang atau kompos. Spora ini dapat tahan hidup di tanah lebih dari setahun dan dapat menyerang tanaman baru (Suhardi, 1993; Nirwanto, 2001).

VII. Manajemen Penyakit Tanaman

Konsep manajemen penyakit serupa dengan konsep yang lebih tua yakni konsep manajemen hama, walaupun asal usulnya berbeda. Pengertian yang luas bahwa pekerjaan pengendalian terpadu adalah untuk mengatur penyakit jamur berada di bawah ambang ekonomi. Selanjutnya diharapkan bahwa konsep manajemen penyakit akan tumbuh mengikuti konsep manajemen hama, walaupun masih sulit diterima oleh petani bahwa besarnya tingkat serangan masih dapat ditolerir. Hal ini dikarenakan adanya doktrin bahwa tanaman harus bersih dan tidak terdapat bercak.

Manajemen penyakit tergantung pada pengetahuan ekonomi tanaman, ambang ekonomi kerugian, dinamika populasi patogen, penggunaan teknik pengendalian yang dapat menghasilkan efek yang diharapkan, dan hubungan antara pengendalian dengan pengaruh ekonomi. Manajemen pengendalian penyakit mendukung perbaikan stabilitas produksi, standarisasi prosedur pengendalian terpadu, dapat digunakan pada daerah pertanian baru dan area lama dengan tanaman baru dan yang terpenting adalah merespon dengan cepat dan fleksibel terhadap peledakan penyakit.

Pengendalian penyakit

Pengendalian penyakit secara ilmiah telah dimulai sejak abad Sembilan belas. Teknik-teknik pengendalian baru telah dikembangkan, sedangkan teknik lama mengalami modifikasi. Untuk tanaman yang mempunyai nilai ekonomi tinggi cara pengendalian mempunyai berbagai variasi dan banyak. Kebanyakan penyakit yang mempunyai perkembangan lambat, pengendaliannya dapat dilakukan dengan mengurangi inokulum awal (X_0).

Dari tahun 1930-1960, patologi tanaman dikembangkan dengan keyakinan bahwa penyakit tidak hanya dapat dikendalikan tetapi juga dapat diberadikasi seperti penggunaan galur tahan dan cara kimia. Periode yang membawa kerugian tersebut telah dilewati dengan cepat merosotnya ketahanan hipersensitif (mengurangi X_0), dengan masalah ekonomi dalam pengendalian kimia, dengan pelanggaran penggunaan fungisida yang mengandung logam berat, dengan berkembangnya toleransi jamur terhadap beberapa pengendalian kimia.

Selanjutnya ahli penyakit tanaman harus mempunyai pengetahuan yang luas tentang seperangkat metode

pengendalian, terhadap tanaman secara komprehensif, patogen, dan lingkungan untuk merencanakan program pengendalian yang ekonomis dan biologis. Beberapa tipolog metode pengendalian penyakit dapat dilihat pada table di bawah.

Tabel 2. Metode Pengendalian Penyakit Tanaman

Metode pengendalian	Efek utama
A,. Pengendalian patogen	
1. Pemilihan area geografis	Xo r
2. Pemilihan tempat tanam	Xo
3. Pemilihan saat tanam	Xo r
4. Penggunaan bibit bebas penyakit	Xo
5. Modifikasi bercocok tanam	r
B. Penghilangan patogen	
1. Perlakuan benih atau	Xo
2. Pemeriksaan dan sertifikasi	Xo
3. Penghilangan atau pembatasan oleh	Xo
. karantina tanaman	Xo r
4. penghilangan serangga vektor	

<p>C. Eradikasi patogen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengendalian biologi patogen 2. Rotasi tanaman 3. Pencabutan dan pemusnahan tanaman peka atau bagian-bagian tanaman <ol style="list-style-type: none"> a. penghilangan inang alternatif atau gulma inang b. sanitasi 4. perlakuan panas dan kimia pada bibit . . . tanaman 5. perlakuan tanah 	<p>Xo Xo Xo Xo Xo Xo</p>	
<p>d. Proteksi tanaman</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penyemprotan dan perlakuan propagul tanaman untuk melindungi infeksi 2. Mengendalikan serangga vector 3. Modifikasi lingkungan 4. Inokulasi dengan virus lemah untuk . . . melindungi dari virus yang lebih virulen 5. Modifikasi nutrisi 	<p>Xo r r Xo r</p>	
<p>E. Perkembangan inang tahan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Seleksi dan pemuliaan untuk ketahanan <ol style="list-style-type: none"> a. ketahanan vertikal b. ketahanan horizontal c. Ketahanan dua dimensi d. Ketahanan populasi (multigalur) 2. Ketahanan menggunakan kemoterapi 3. Ketahanan melalui nutrisi 	<p>Xo Xo r r r r</p>	r

F. Terapi pada tanaman sakit	
1. Kemoterapi	r
2. Perlakuan panas	xo
3. Pengambilan bagian yang sakit	Xo

Pandangan epidemiologi terhadap cara-cara pengendalian

Tujuan pengendalian penyakit adalah untuk mencegah kerusakan penyakit yang melebihi tingkat dimana keuntungan atau hasil dapat menurun secara signifikan. Dalam hal ini epidemiologi memberikan jalan bahwa cara-cara pengendalian dapat memenuhi tujuan tersebut dengan dua cara, yaitu mengurangi atau menunda awal musim tanam (X_o) atau mengurangi laju perkembangan penyakit (r) selama periode pertanaman tanaman.

Pada table 2 di atas, kolom sebelah kanan menunjukkan cara yang paling umum dalam pengendalian untuk mengatasi ke dua masalah di atas. Sedangkan Gambar 2 menjelaskan bahwa epidemic digambarkan dengan pertambahan intensitas serangan X mengikuti waktu t . Tingkatan penting X ditunjukkan oleh sumbu absis (datar). Kurva perkembangan penyakit disederhanakan menjadi garis lurus. Keadaan X_o dimanipulasi dengan perlakuan a dan b ,

kondisi X_t dimanipulasi dengan perlakuan d dan e, dan laju r dikendalikan dengan perlakuan c dan f.

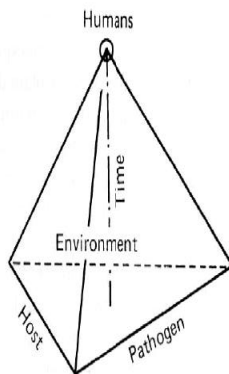
Selanjutnya, pengendalian pada penyakit yang berbeda memerlukan prosedur pengendalian yang berbeda pula. Pengaturan beberapa system penyakit, terutama penyakit dengan kategori bunga sederhana dan penyakit dengan siklus satu tahun (polietic) dapat dipengaruhi oleh pengurangan X_o . Untuk kebanyakan penyakit lebih dari satu cara pengendalian yang digunakan, hal ini dilakukan untuk menekan X_o dan r. Dalam patologi tanaman penggunaan seperti ini sama dengan pengendalian terpadu pada bidang entomologi, yaitu gabungan dari metode budidaya, tindakan pengaturan, pemuliaan ketahanan dan pengendalian kimia. Sebenarnya masih ada lagi pengendalian yang mungkin yaitu pengendalian biologis, akan tetapi penggunaannya masih perlu penelitian lebih lanjut.

Pengendalian penyakit dan manajemen penyakit sebagai system

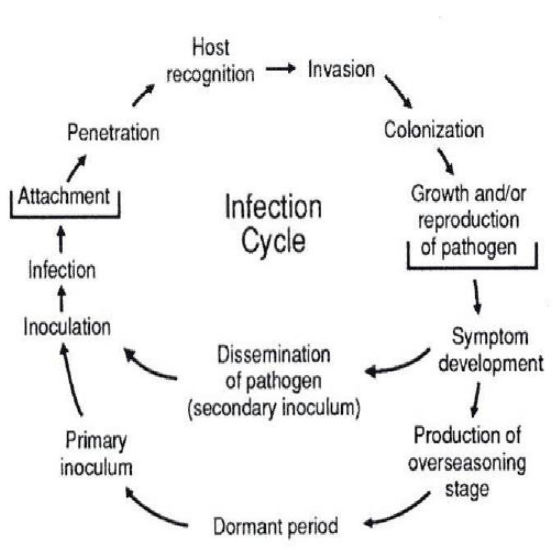
Semua petani adalah manajer-manajer yang memelihara sumber dayanya termasuk lahannya sebagaimana memelihara tanamannya. Jumlah dan

kemutakhiran manajemen semakin dibutuhkan menurut intensifikasi pertanian, luas lahan, jumlah tanaman yang diusahakan, dan tekanan ekonomi. Manajemen lahan termasuk pengendalian hama dan penyakit

Dalam agroekosistem aktivitas manajerial dari seluruh pihak yang terlibat (tanaman, penyakit, manusia secara bersama-sama disebut manajemen agroekosistem. Dalam agroekosistem, suatu tanaman membentuk suatu subsistem, dalam hal ini disebut manajemen tanaman. Dalam subsistem ini aktivitas perlindungan tanaman membentuk subsistem lebih lanjut, yang disebut dengan proteksi tanaman (crop protection). Subsistem ini mempunyai tiga subsistem lebih lanjut yang disebut manajemen penyakit, manajemen pes, dan manajemen gulma. Perlindungan tanaman itu sendiri merupakan subsistem dari manajemen tanaman. Semua system penyakit melibatkan satu kombinasi inang-patogen, sehingga manajemen system penyakit merupakan subsistem dari manajemen penyakit dan hama yang lebih kompleks.



Gambar 7.1. Hubungan antar faktor-faktor pendukung terjadinya epidemi penyakit tanaman.



Pokok-pokok dalam manajemen penyakit

Manajemen penyakit merupakan total semua kegiatan, baik direncanakan maupun tidak, yang mengatur tingkat penyakit sehingga tetap di bawah nilai ambang ekonomi, kegiatan dapat diarahkan pada suatu penyakit atau beberapa penyakit yang dapat merugikan tanaman. Kegiatan tersebut dapat sesuai atau tidak sesuai dengan system yang ada, sehingga manajemen penyakit merupakan bagian dari manajemen tanaman tetapi memerlukan pengetahuan ilmiah yang khusus. Perkembangan program manajemen penyakit tergantung dari

tiga pengetahuan, yaitu; ekonomi tanaman, dinamika populasi, dan teknologi pengendalian penyakit.

Pertimbangan ekonomi sangat penting dalam proses pengambilan keputusan. Penilaian oleh badan yang berwenang, konsumen, pengecer, dan petani mempunyai peranan yang penting. Penilaian petani secara implicit maupun eksplisit menentukan nilai kerusakan secara ekonomi.

Tingkat ambang kerusakan

Strategi manajemen penyakit adalah mentolerasi penyakit, akan tetapi keberadaannya di bawah tingkat ekonomi. Hal ini berarti bahwa pada X_t penyakit mulai mempengaruhi hasil atau kualitas tanaman yang disebut ambang kerusakan harus diketahui. Nilai ambang tersebut berbeda menurut tanaman, penyakit, dan ekonomi lokal. Penilaian petani mengenai kerusakan ekonomi yang dapat diterima harus diterjemahkan ke dalam nilai X_t .

terendah yang dapat menyebabkan kerusakan ekonomi. Kerusakan ekonomi merupakan jumlah luka yang menentukan biaya tindakan pengendalian buatan. Konsekuensinya nilai ekonomi berbeda dari daerah ke daerah, dari musim ke musim, atau tergantung skala nilai ekonomi.

Dari sini diistilahkan ambang kerusakan gambar2 yang menunjukkan garis sebarang. Garis 1 dan 2 mewakili perkembangan penyakit dengan laju yang sama. Garis 2 baik yang berasal dari tingkat yang lebih rendah X_0 (a) atau yang mulai kemudian b) garis 1 memotong ambang kerusakan X_0 lebih awal dari garis 2 dan penyakit mencapai tingkat panen X_h dan kemungkinan rusak. Garis 3 dan 4 untuk perkembangan penyakit dengan laju lebih rendah, garis-garis itu tidak akan mencapai ambang kerusakan sebelum panen. Laju demikian berasal dari ketahanan horizontal, dan penggunaan kultivar dengan kualitas seperti ini akan memenuhi persyaratan manajemen penyakit.

Penentuan ambang kerusakan yang betul merupakan bagian dari penyesuaian manajemen local dan tidak tergantung pada informasi biologi saja akan tetapi juga pada pengetahuan biaya input yang tepat pada system, nilai output, nilai perawatan yang diperlukan. Dengan demikian petani hanya dapat memperoleh pengendalian penyakit yang akan menghasilkan hasil dan keuntungan yang melebihi biaya pengendalian.

Dengan bertambahnya intensifikasi, maka biaya input biasanya ikut naik. Hasil yang dipetakkan terhadap input

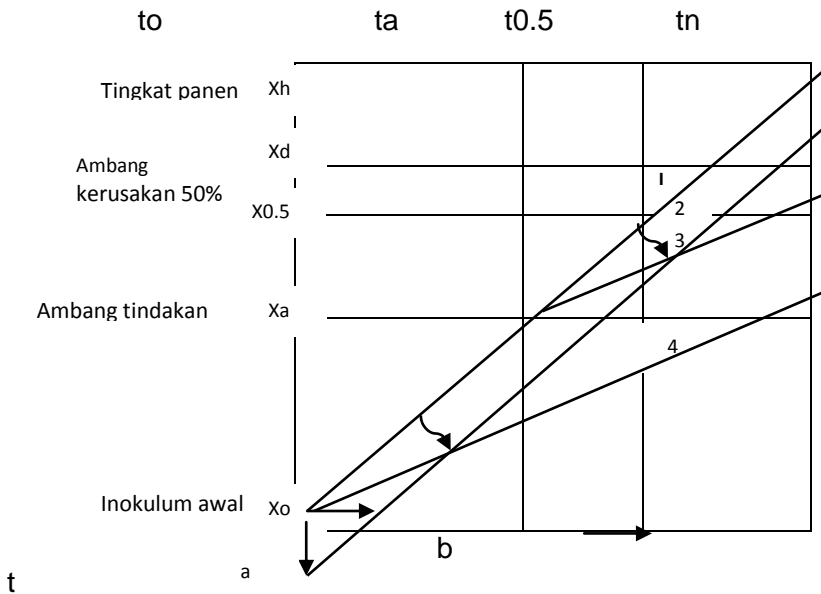
sering menunjukkan pembengkokan kurva dimana setiap unit input menghasilkan pertambahan hasil yang semakin kecil. Salah satu input adalah biaya pengendalian penyakit dan pengembalian yang berkurang harus diperhitungkan di dalam penentuan seberapa jauh pengendalian dapat dilakukan.

Ambang ekonomi atau ambang tindakan

Laju perkembangan penyakit r tergantung dari ketahanan inang, virulensi patogen, dan kesesuaian lingkungan. Setiap kultivar mempunyai ambang kerusakan yang berbeda. Jika X_0 , r , dan ambang kerusakan diketahui, maka dapat diramalkan pada saat kapan penyakit akan melampaui ambang kerusakan. Bila hal ini mencapai ambang kerusakan sebelum panen, maka kerusakan yang berat mungkin akan terjadi (Gambar 2).

Apabila ambang keusakan X_d diketahui dan terdapat penyakit, maka petani harus tahu saat mana untuk bereaksi hal ini disebut ambang tindakan X_a . Pada waktu yang tepat, petani harus melakukan pengendalian yang akan mengurangi laju r sehingga penyakit tidak mencapai ambang kerusakan sebelum panen. Penelitian fungisida menunjukkan seberapa jauh pengurangan r akan terjadi dengan bahan dan kondisi

yang berbeda. garis 3 pada bagan di bawah menggambarkan hal ini. Bila penyakit yang diamati akan berkembang dengan laju pada garis 1 dan apabila diketahui bahwa



perlakuan tertentu akan mengurangi r yang ditunjukkan oleh jumlah pada f , manajer atau advisor dapat menghitung waktu tad an tingkat penyakit X_a kapan saatnya bertindak. Epidemiologi memberikan cara-cara ini untuk membuat keputusan semacam ini. Seorang manajer juga dapat

menghitung saat mana saja dalam suatu musim, nilai r yang masih diperbolehkan serta kapan dilakukan penyemprotan.

Istilah ambang tindakan merupakan sinonim pada entomolodalian yang gis , economic threshold yang mana didefinisikan sebagai kepadatan dimana cara-cara pengendalian harus ditentukan untuk mencegah pertambahan populasi pes mencapai tingkat luka ekonomi. Ambang ekonomi lebih rendah dari tingkat luka ekonomi untuk memberikan cukup waktu memulai pengendalian dan untuk pengendalian yang pengaruhnya terhadap populasi mencapai tingkat luka ekonomi.

Ambang peringatan

Segala sesuatunya harus dilakukan sebelum petani mengambil tindakan yang tepat. Penyediaan fungisida , persiapan peralatan semprot, dan sebagainya. Kadang-kadang ambang peringatan berguna karena pada saat tersebut tingkat penyakit xw memerlukan peringatan siaga.

Ambang peringatan lebih rendah dan lebih awal daripada ambang tindakan, dan ambang tindakan lebih awal dari ambang kerusakan. Karena ambang kerusakan didasarkan

pada keputusan nilai, maka bersifat subyektif dan konsekuensinya dua ambang yang lain juga subektif. Penilaian obyektif dapat dimungkinkan dengan keputusan bersama, akan tetapi ambang kerusakan dapat berubah – ubah dari satu lahan ke lahan lain, sehingga ambang peringatan dapat ditentukan secara local dan regional.

Strategi Pengendalian penyakit tanaman

Dari sudut epidemiologi suatu penyakit tanaman dapat dikendalikan dengan berusaha menekan X_0 , r , dan t yang menggunakan rumus van der plank, yakni $X_t = X_0 (1+rt)$ dan $X_t = X_0 \cdot e^{rt}$. Di dalam praktek lama perkembangan penyakit (t) sukar diubah sehingga untuk menekan X_0 dan r dapat dilakukan sejumlah tindakan.

Sebagai missal, jika di dalam suatu kebun the dataran rendah terapat sekelompok perdu yang mati karena jamur akar merah (*Ganoderma pseudoferreum*), maka penyakit akan meluas ke semua arah dari bulan ke bulan atau dari tahun ke tahun. Jika pada saat itu terdapat 100 perdu yang mati dan sakit, sedangkan untuk lokasi itu setiap bulannya terjadi infeksi baru sebanyak 8 %, maka setelah satu tahun jumilha tanaman yang sakit menjadi $100 + 100 \times 8\% \times (12 \text{ bulan})$ atau sama

dengan 196 prdu. Jumlah tanaman sakit setelah jangka waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus;

$$X_t = X_o(1+rt)$$

Keterangan:

X_t = jumlah tanaman sakit setelah waktu

X_o = jumlah tanaman sakit pada permulaan ($t=0$)

r = laju infeksi atau jumlah tanaman baru yang terinfeksi setelah jangka waktu t

=jangka waktu berkembangnya penyakit

Pada contoh di atas dan pada penyakit-penyakit akar dan penyakit-penyakit tular tanah (soil borne0 pada umumnya hanya tanaman-tanaman sakit yang berada di tepi rimpang yang menularkan penyakit. Tanaman –tanaman yang di tengah tidak menularkan penyakit ke tanaman sehat. Di sini bertambahnya jumlah tanaman sakit mirip dengan bertambahnya uang yang dibungakan dengan bunga tunggal. Oleh karena itu penyakit ini disebut sebagai penyakit bunga tunggal (simple interst disease). Sedangkan pada penyakit tular udara yang sporanya dipencarkan melalui udara (air

borne disease), seperti pejumlah tanaman sakit mirip dengan bertambahnya uang yang dibungakan dengan bunga tunggal. Oleh karena itu penyakit ini disebut sebagai penyakit bunga tunggal (simple interest disease). Sedangkan pada penyakit tular udara yang sporanya dipencarkan melalui udara (air borne disease), seperti penyakit cacar teh (*Exobasidium vexans*) dan patik pada tembakau (*Cercospora nicotianae*). Pada batas-batas tertentu pertambahan tanaman sakit mirip dengan pertambahan uang yang dibungakan dengan bunga majemuk, karena itu disebut penyakit bunga majemuk (compound interest disease). Pada jenis penyakit ini jumlah tanaman yang sakit dalam jangka waktu t mengikuti rumus $X_t = X_0 \cdot e^{rt}$

Keterangan mengenai X_t , X_0 , r dan t sama dengan keterangan pada rumus terdahulu, sedangkan e adalah bilangan natural 2,72 (Van der plank, 1963).

Selanjutnya dengan memperhatikan rumus-rumus epidemiologi tersebut di atas, baik pada rumus pertama maupun kedua jumlah tanaman sakit (X_t) akan kecil apabila X_0 , r , dan t dapat ditekan.

Sebelum penyakit berkembang, Xo akan rendah apabila tanah tidak mengandung patogen, baik sebagai akibat dilaksanakannya pergiliran tanaman yang tepat, pembersihan sisa-sisa tanaman sakit, atau karena disinfestasi tanah dengan bahan kimia maupun pemanasan. Mengusahakan bibit sehat atau perlakuan benih maupun bibit dengan fungisida, membinasakan tanaman inang sakit, mencegah masuknya tanaman dari Negara lain yang dapat menyebabkan menyebarnya patogen (karantina), yang semuanya itu dapat menurunkan Xo menjadi 0.

Beberapa tindakan yang dapat menurunkan laju perkembangan penyakit (r) dapat dilakukan melalui penggunaan bibit tanaman yang tahan, penanaman pada saat yang tepat dengan maksud menghindari kondisi yang mendukung perkembangan penyakit seperti suhu, kelembaban, curah hujan dan intensitas matahari yang sesuai dengan biologi patogen. Penanaman pada lokasi yang tepat untuk menghindari kondisi iklim yang sesuai bagi perkembangan patogen. Di samping itu penghilangan bagian tanaman sakit atau pencabutan tanaman yang sakit dapat pula menekan laju perkembangan penyakit serta penggunaan fungisida maupun pestisida untuk mengurangi vector

maupun organism penyebar penyakit pada penyakit virus akan mampu menurunkan laju perkembangan penyakit (r). Pada waktu petani pertama kali mulai menanam tanaman, orang-orang telah tertarik dengan mengurangi kerugian panen akibat penyakit tanaman. Melalui evolusi teknologi produksi selama sepuluh ribu tahun yang lalu, prinsip manajemen penyakit tanaman menjadi bagian dari peradaban. Keputusan di mana, dan apa yang harus ditanam dan perkembangan praktek budaya spesifik telah didasarkan pada coba-coba dari generasi yang tak terbilang banyaknya. Tanpa suatu keraguan, metoda pertanian yang sukses tergantung pada kemampuan mengendalikan perkembangan patogen tanaman, sekalipun petani tidak mempunyai kesadaran yang tertentu terhadap mekanisme biologi yang mendorong suksesnya budidaya. Di dunia manapun secara langsung atau tidak langsung, usaha untuk mengendalikan penyakit tanaman ditentukan oleh apa yang manusia makan dan di mana mereka menetap.

Bab ini menjelaskan bagaimana penyakit tanaman berkembang seiring dengan berjalannya waktu, dan mengenalkan model matematika epidemi penyakit tanaman. Contoh dari pustaka yang diterbitkan menunjukkan

bagaimana model ini digunakan untuk mengambil suatu keputusan manajemen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, A.L. 2003. Ilmu Penyakit Tumbuhan III, Bayumedia Publishing. Malang. 137 hal.
- Andrison, D., J.M. Lucas dan D. Ellis. 2003. Development of Natural Late Blight Epidemics to Pure and Mixed Potatoes with Different Levels of Partial Resistance, ***Plant Pathology***. Vol. 52 issue 5 hal. 586.
- Anonim, 1990. Report on Plant Disease. Department of Crop Science. University of Illinois. Urbana-Champaign. September 1990. No. 931
- Anonim, 1998. Pedoman Bertanam Bawang. Kanisius. Yogyakarta. 99 hal.
- Anonim, 2000. Form Dokumen Keputusan Menteri Pertanian. Nomor:65/Kpts/TP.240/2/2000.
<http://dokumen.deptan.go.id/doc/BDD2>. nst. 12 Februari 2005.
- Anonim, 2003. Disease of onion (*Allium sepa*) and garlic (*Allium sativum*).
<http://agrizone.edu/nlp/plpext/disease/vegetables/onion/onionpbl.html>. 10/03/2005
- Anonim, 2006. OPT Utama Tanaman Bawang Merah. Direktorat Perlindungan Hortikultura.

- Barrett, J.A. 1977. A Model of Epidemic Development in Variety Mixtures.p. 129-137. Plant Disease Epidemiology, _Scott, P.R. and A. Bainbridge. (editor), 1978. Plant Disease Epidemiology Blackwell Scientific Publications. London.
- Baswarsiati dan S. Nurbanah. 1997. Teknik Budidaya Bawang Merah di Luar Musim. BPPT. Wonocolo. 12 hal.
- Bowe dan Teng, P.S. 1987. Crop Loss Assessment and Pest Management. APS. St. Paul Minnesota. 270 hal.
- Castilla, N.P., C.M. Vera Cruz and T.W. Mew, IRRI and Y. zhu. 2003. Using rice cultivar mixtures: a sustainable approach for managing diseases and increasing yield. Yunnan Agricultural University, Yunnan.
- Castro, A., 2001. Cultivar Mixture. The American Phytopathology Society.Dept. of Crop and Soil Sciences. Oregon State University.
- Cowger, C., L.D. Wallace dan C.C. Mundt. 2005. Velocity of spread of wheat stripe rust epidemics. **Phytopathology** 95: 972-982
- Delahaut, K. 2004. Onion disorder: Purple Blotch. University of Wisconsin Extension. Madison. Cooperative Extension Publishing. Lake St.

- Evans, N., Baiert, A., Brain, P., Welham, S.J. dan Fitt, B.D.L., 2003. Spatial aspects of light leaf spot (*Pyrenopeziza brassicae*) epidemic development on Winter Oilseed Rape (*Brassica napus*) in the united Kingdom. ***Phytopathology*** 93, 657-655.
- Everts, K.L. dan M. L. Lacy. 1990. The influence of dew duration, relative humidity, and leaf senescence on conidial formation and infection of onion by *Alternaria porri*. ***Phytopathology*** 80, 1203-1207
- Garrett, K.A. and C.C. Mundt. 1999. Epidemiology in mixed host populations. ***Phytopathology*** 89: 984-990
- Garrett, K.A. dan S.P. Dendy. 2002. Cultural practices in potato late blight management. Component of IPM-late blight: 107-114
- Gomez, K.A. dan A.A. Gomez. 1984. Statistical Procedure for Agricultural Research. John Wiley & Sons, Inc., 698 hal.
- Hadisutrisno, B. Sudarmadji, S. Siti dan P. Achmad. 1996. Peranan Faktor Cuaca terhadap Infeksi dan Perkembangan Penyakit Bercak Ungu pada Bawang Merah. Indon. ***J. Plant Prot.*** Vol I, No. 1: 56-64
- Horiuchi, M., O. Keiichiro, Y. Masakazu dan M. Takashi. 2004. LC/PAD/APCI-MS for the characterization and analysis from *Alternaria porri*. Chromatography. Vol.25. No. 2 (2004)

- Kerr, A. 1977. Dispersal of plant pathogens by vectors. A course manual in plant protection, Brown, J.F. (editor), 1980. Hedges and Bell Ltd. Melbourne. 219-227.
- Koike, S.T. dan Henderson, H.H. 1998. Purple blotch, caused by *Alternaria porri*, on Leek Transplants in California. ***Plant Disease*** 82: 710
- Kotcon, J. 2004. Intercropping with Resistant Varieties for Management of Plant Disease in Organik Tomato Production. Organic Farming Research Foundation Project Report. West Virginia University. 12 pp
- Kranz, J. 1974. Epidemics of plant diseases. Mathematical analysis and modelling. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 170 hal.
- Mundt, C.C. 2002. Use of Multiline Cultivars and Cultivars Mixtures for Disease Management. Annual review. ***Phytopathology*** 40:381-410
- Mundt, C.C. dan K.J. Leonard. 1985. A modification of gregory's model for describing plant disease gradients. ***Phytopathology*** 75: 930-935
- Mundt, C.C. dan K.J. Leonard. 1986. Analysis of factors affecting disease increase and spread in mixtures of immune and susceptible plants in computer-simulated epidemics. ***Phytopathology*** 76: 832-840

Mundt, C.C., K.J. Leonard, W.M. Thal dan J.H. Fulton.1986. Computerized simulation of crown rust epidemics in mixtures of immune and susceptible oat plants with different genotype unit areas distributions of intial disease. ***Phytopathology*** 76: 590-598

Nirwanto, H. 2001. Studi Hubungan Cuaca dengan Epidemi Penyakit Bercak Ungu (*Alternaria porri*) dalam Penentuan Nilai Ekonomi Penggunaan Fungisida pada Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum*). Tesis. PPSUB. Universitas Brawijaya. Malang.

Parbery, I.H. 1977. Plant parasitic fungi: Introduction. A course manual in plant protection, Brown, J.F. (editor), 1980. Hedges and Bell Ltd. Melbourne. 71-82.

Phillips, S.L., M.W. Shaw & M.S. Wolfe. 2005. The effect of potato variety mixtures on epidemic of late blight in relation to plot size and level of resistance. *Annals of applied biology* 147: 245-252

Pollet, A. dan Nasrullah. 1994. Penggunaan metode statistika untuk ilmu hayati. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 423 hal.

Puspawati, N.M., I.R. Sastrahidayat, S. Djauhari, dan H.S. Mudjo, 1988. uji antagonisme jamur saproba terhadap *Alternaria porri* pada tanaman bawang putih (*Allium sativum*) Jurnal Fitopatologi. PFI. Malang.

Rottem, J. 1998. The Genus *Alternaria*. Biology, Epidemiology, and Pathogenecity. American Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota.

Rouse, D.I., R.R. Nelson dan D.R. Mac Kenzie. 1980. A stochastic model of horizontal resistance based on frequency distributions. *Phytopathology* 70: 951-954

Rukmana, R., 1995. Bawang Daun. Kanisius. Yogyakarta. 50 hal.

Samadi, B. dan B. Cahyono. 1996. Intensifikasi budidaya bawang merah. Kanisius. Yogyakarta.

Sastrahidayat, I.R. 1994. Studi efikasi fungisida difenocanazol terhadap penyakit bercak ungu (*alternaria porri*) pada tanaman bawang putih di Batu-Malang dan Nongko Jajar-Pasuruan. *Agrivita*. Vol. 17, no. 2

Sastrahidayat, I.R. 1991. Penerapan pengendalian terpadu terhadap penyakit bercak ungu (*Alternaria porri*) pada tanaman bawang putih di lapang. Dirjen PT. Dept P dan K.

Sastrahidayat, I.R. 1995 *Pengantar Epidemiologi Penyakit Tanaman*. Fak. Pertanian. Unibraw, Malang.

Schwartz, H. F., 2005. Botrytis, Downy mildew and Purple blotch of Onion. Colorado Onion Production and IPM. <http://www.ext.colostate.edu/>. 12 Maret 2005

- Semangun, H. 1991 *Penyakit-penyakit Tanaman Hortikultura*. University Gajah Mada. Press, Yogyakarta.
- Sitch, L. dan W.J. Whittington. 1983. The effect of variety mixture on the development of swede powdery mildew. ***Plant Pathology***.32. 41-46
- Smith, L. J., 2002. Intercropping with resistant cultivars reduces early blight and root knot disease on susceptible cultivars of tomato (*Lycopersicon esculantum*). Thesis. Davis college of agriculture, forestry and consumer sciences at West Virginia University. Morgantown West Virginia.
- Soemarno, 2001. Badan Pengembangan Ekspor Nasional. Departemen Perdagangan RI. www.nafed.go.id. 31 Agustus 2006
- Streets, R.B. Sr., 1973. *Diagnosis of Plant Diseases*. The university of Arizona Press. USA. Alih bahasa Imam Santoso. 1980. 206 hal.
- Sugiyono, 1997. *Statistika untuk penelitian*. CV. Alfabeta. Bandung. 293 hal.
- Suhardi. 1993. Pengaruh waktu tanam dan interval penyemprotan fungisida terhadap intensitas serangan *Alternaria porri* dan *Colletotrichum Gloesporioides* pada bawang merah. ***Buletin Penel. Hort.*** XXVI No. 1.

Suheri dan Price, 2000. Infection of onion leaves by *Alternaria porri* and *Stemphylium vesicarium* and disease development in controlled environments. ***Plant Pathology***. Vol.49. issue 3. hal. 375

Tratwal, A., Jadwiga Nadziak. 2004. Powdery mildew control in winter barley pure stands and cultivar mixtures using different timing and doses of fungicides. Cereal rusts and powdery mildews Bulletin 2004/1029

Van der Plank, J.L. 1963. Plant diseases: epidemics and control. Academic Press. New York and London. 349 hal.

Zadoks, J.C. dan R.D. Schein. 1979. Epidemiology and Plant Disease Management. Oxford university Press. New York.